FLORIN ALEXA

TEHNICA SUNETULUI

Scanned with OKEN Scanner

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
ALEXA, FLORIN
Tehnica sunetului / Florin Alexa - Timişoara : Editura de Vest, 2005
ISBN 973-36-0415-1

534.85
681.84

ISBN 973-36-0415-1

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CUVÂNT ÎNAINTE

Noțiunea de sunet este una familiară vieții cotidiene. Vorbirea, foşnetul frunzelor, susurul izvoarelor, claxonul maşinilor, audierea unui pasaj muzical (simfonie, muzică populară, muzică disco etc.) constituie sunete. Sunetul, ca fenomen fizic, reprezintă o componentă majoră a procesului informațional existențial, pe de o parte, iar pe de altă parte, este unul din mijloacele de bază în generarea actului estetic. Aflată la interferența dintre obiectiv şi subiectiv, Tehnica sunetului este un domeniu dinamic aflat în continuă dezvoltare, chiar dacă primele experimentări ale transmisiei stereofonice au avut loc acum mai bine de 100 ani (1881 Paris, la Expoziția Internațională de Electricitate).

Cerința unei reproduceri fidele a scenei sonore (sunetului) a fost cea care a alimentat lupta continuă pentru îmbunătățirea şi perfecționarea echipamentelor de captare, înregistrare şi transmitere a sunetului. Creşterea continuă a nivelului ştachetei standardelor de fidelitate a reprezentat țelul cercetărilor în acest domeniu.

Scopul declarat în legătură cu tehnica sunetului este acela de a păstra calitatea sunetului originar (oricare ar fi ea). În acest context, întrucât judecătorul final este omul, intervine factorul subiectiv. „Calitatea" este discutată în special în relație cu domeniul muzical, deoarece atât vocile, cât şi instrumentele au anumite calități date de caracteristicile lor tonale şi de timbru.

Evoluția societății spre una informațională a deschis, prin utilizarea tehnicilor de prelucrare numerică a semnalelor, o largă perspectivă în ceea ce priveşte integrarea diverselor informații (audio, date, text, imagini, secvențe de imagini) în vederea unui transfer rapid şi sigur a acestora. Realizările spectaculoase în domeniul comunicațiilor (GSM, VoIP) fiind posibile numai prin înțelegerea corectă şi utilizarea particularităților aparatului fonator şi cele ale aparatului auditiv.

Cu toate că cercetările au cuprins întreaga gamă a echipamentelor unui lanț acustic (microfoane, difuzoare, mixere, sisteme de prelucrare), există şi excepții, ca de exemplu anumite tipuri de difuzoare care de-a lungul anilor s-au modificat foarte puțin.

Lucrarea care reprezintă practic ediția a doua a cărții Introduce în tehnica sunetului, este structurată modular pe capitole, ce pot fi parcurse şi individual, ținând

seama de trimiterile către alte paragrafe sau capitole. Față de prima ediție lucrarea este completată cu principalele sisteme de transmisie multicanal a sunetului și cu principiul de funcționare al difuzoarelor plate.

Primele două capitolele cuprind noțiunile de bază referitoare la sunet (unde acustice, câmp sonor, propagare), sistem auditiv (mecanismul audiției, caracteristicile fiziologice ale sunetului). Putem, de asemenea, preciza faptul că este prezentată corelația sunet-senzație. Tot aici sunt definite intervalele muzicale, reprezentarea semnalelor și câteva noțiuni legate de construcția și caracteristicile acustice ale încăperilor.

Capitolul 3 se dorește a fi o prezentare a noțiunilor de bază legate de stereofonie dar și o analiză, succintă, a principalelor sisteme de transmisie multicanal a sunetelor.

Următoarele două capitole (4 și 5) au ca obiect prezentarea elementelor de captare (microfoanele) și redare(difuzoarele) a sunetului. Pe lângă principiile de funcționare și schițe constructive ale microfoanelor sunt incluse câteva soluții practice privind amplasarea acestora, fără a avea, însă, pretenția de a fi soluții ideale.

Cele mai semnificative echipamente specifice prelucrării semnalului electric corespunzător sunetului împreună cu principalele caracteristici și principii de funcționare reprezintă conținutul capitolelor 6 și 7.

În capitolele 8 și 9 sunt descrise principiile prelucrării numerice a sunetului, respectiv principalele interfețe utilizate în echipamentele numerice de prelucrare a semnalelor audio.

Un ultim capitol prezintă succint sistemele clasice și moderne de înregistrare și redare a sunetului, incluzând și: înregistrarea magnetică numerică (DAT, DCC), CD, MiniDisc etc.

Prin conținutul ei, cât și prin nivelul de abordare al problemelor lucrarea se dorește a fi una de introducere în domeniul sistemelor de prelucrarea a sunetului. Ea se adresează atât specialiștilor cât și nespecialiștilor, fiind accesibilă unui public mai larg, de amatori, interesați să dobândească noțiuni noi sau să-și aprofundeze cunoștințe în acest domeniu.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

Capitolul 1. Noțiuni fundamentale despre sunet 13

1.1. Introducere în acustică 13
1.1.1. Unde acustice 15
1.1.2. Mărimile caracteristice ale undelor acustice 17
1.1.3. Fenomenele fizice implicate în propagarea undelor sonore 20
1.2. Câmpul sonor 24
1.3. Caracteristicile fizice ale sunetelor 29
1.3.1. Frecvența 30
1.3.2. Intensitatea 31
1.3.3. Structura spectrală 32
1.3.4. Durata 33
1.3.5. Regimul tranzitoriu 33
1.4. Propagarea sunetelor 34
1.4.1. Propagarea în aer liber 34
1.4.2. Propagarea sunetului în spații închise 35
1.5. Reprezentarea mărimilor acustice 40

Capitolul 2. Psihoacustica 43

2.1. Mecanismul audiției 43
2.1.1. Anatomia urechii 43
2.1.2. Proprietățile urechii 46
2.1.3. Particularitățile urechii 48
2.1.4. Audiția binaurală 50
2.2. Caracteristicile fiziologice ale sunetului 52
2.2.1. Înălțimea sunetului 52
2.2.2. Tăria sunetului 53
2.2.3. Timbrul 56

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3. Stereofonia **57**

3.1. Localizarea auditivă a unei surse sonore 57
3.1.1. Diferența de timp 58
3.1.2. Diferența de fază 60
3.1.3. Diferența de intensitate 61
3.1.4. Diferența de componente spectrale 62
3.1.5. Perceperea distanței 63
3.2. Principiile stereofoniei 63
3.2.1. Sistemul stereofonic cu două canale 64
3.2.2. Compatibilitatea sistemelor stereofonice 71
3.3. Sunetul stereofonic multicanal 72
3.3.1. Cuadrofonia 72
3.3.2. Sistemul Ambisonic 74
3.3.3. Sistemul Dolby surround 81

Capitolul 4. Microfoane **87**

4.1. Caracteristicile microfoanelor 88
4.2. Clasificarea microfoanelor 91
4.3. Tipuri de microfoane 93
4.4. Tehnici specifice utilizării microfoanelor 103
4.4.1. Procedeul bazat pe relații de timp şi intensitate AB 104
4.4.2. Procedee bazate pe relații de intensitate 108
4.4.3. Soluții practice de captare 113

Capitolul 5. Difuzoare, incinte, căşti **123**

5.1. Difuzoare 123
5.1.1. Clasificarea difuzoarelor 124
5.1.2. Tipuri de difuzoare 124
5.1.3. Parametrii difuzoarelor 131
5.1.4. Domeniile de utilizare ale difuzoarelor 132
5.1.5. Sisteme de difuzoare cu filtre de separare 135

Scanned with OKEN Scanner

5.2. Panouri şi incinte acustice 141
5.2.1. Panouri acustice 142
5.2.2. Incinte acustice 143
5.3. Căşti acustice 148
5.4. Alimentarea difuzoarelor 149

Capitolul 6. Mixere audio 151

6.1. Introducere 151
6.2. Structura echipamentelor de mixare audio 152
6.2.1. Module de intrare 152
6.2.2. Gruparea canalelor 155
6.2.3. Module de ieşire 157
6.3. Principalele facilitaţi ale mixerelor 158
6.3.1. Secţiunea de intrare 158
6.3.2. Secţiunea de distribuţie a căilor 159
6.3.3. Secţiunea de control a dinamicii 159
6.3.4. Secţiunea de egalizare 159
6.3.5. Secţiunea de mixare 160
6.3.6. Legături auxiliare 162
6.3.7. Secţiunea de control general 163
6.3.8. Secţiunea de ieşire 163
6.3.9. Secţiunea de măsurare 165
6.3.10. Secţiunea de comunicare 167
6.4. Caracteristicile tehnice ale mixerelor 167
6.4.1. Zgomotul de intrare 167
6.4.2. Zgomotul de ieşire 167
6.4.3. Impedanţa 168
6.4.4. Răspunsul în frecvenţă 168
6.4.5. Distorsiuni 168
6.4.6. Diafonia 168
6.5. Automatizarea mixerelor 169
6.5.1. Automatizarea comenzilor de nivel 169
6.5.2. Gruparea automată 169

Scanned with OKEN Scanner

6.5.3. Sisteme dinamice şi statice 169
6.6. Mixere numerice 170

Capitolul 7. Echipamente de prelucrare a semnalelor şi efecte sonore 171

7.1. Introducere 171
7.2. Egalizorul 171
7.2.1. Tipuri de egalizoare 171
7.2.2. Utilizarea egalizoarelor 175
7.3. Compresoare 177
7.4. Limitatorul 178
7.5. Poarta de zgomot 179
7.6. Unitatea de întârziere 179
7.6.1. Ecoul 180
7.6.2. Dublarea 180
7.6.3. Corul 181
7.6.4. Conturarea (Flanging) 181
7.7. Unitatea de reverberaţie 182
7.8. Alte efecte sonore 184

Capitolul 8. Prelucrarea numerică a semnalului audio 185

8.1. Prelucrarea numerică a semnalelor 185
8.1.1. Conversia analog-numerică 185
8.1.2. Eşantionarea 186
8.1.3. Cuantizarea 188
8.1.4. Codarea 189
8.1.5. Conversia numeric-analogică 190
8.2. Codarea psihoacustică 190
8.3. Codarea de canal utilizată pentru semnale numerice de sunet 192
8.3.1. Coduri de canal utilizate în interfeţele numerice 193
8.3.2. Coduri grup 194
8.4. Corecţia erorilor 199

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 9. Interfețe audio numerice 201

9.1. Introducere 201
9.2. Interfața standard pentru două canale 202
9.2.1. Formatul datelor 202
9.2.2. Rezoluția semnalului 204
9.3. Linii de conectare 204
9.3.1. Interfețe electrice simetrice (echilibrate) 205
9.3.2. Interfețe electrice asimetrice (neechilibrate) 206
9.3.3. Interfețe optice 207
9.3.4. Conectarea pe mai multe canale 207
9.4. Date suplimentare ale interfeței standard de două canale 207
9.4.1. Datele auxiliare 207
9.4.2. Bitul de validare (V) 209
9.4.3. Canalul utilizator (U) 209
9.4.4. Informațiile de stare ale canalului (C) 211
9.5. Interfața standard multicanal (MADI) 217
9.6. Interfețele MIDI 218
9.6.1. Principiile de bază ale interfeței MIDI 219
9.6.2. Sistemul de comunicație MIDI 221
9.6.3. Sincronizarea 223
9.6.4. Conectarea sistemelor MIDI la calculator 224

Capitolul 10. Înregistrarea sunetului 229

10.1. Înregistrarea magnetică 229
10.1.1. Introducere 229
10.1.2. Principiul înregistrarii magnetice 230
10.1.3. Suportul înregistrării magnetice 231
10.1.4. Capetele magnetice 232
10.1.5. Ştergerea şi înregistrarea magnetică 233
10.1.6. Redarea magnetică 234
10.1.7. Principiile înregistrarii audio 235
10.2. Înregistrarea analogică a sunetului 236
10.2.1. Magnetofonul 237

Scanned with OKEN Scanner

10.2.2. Casetofonul 240
10.3. Reducerea zgomotelor 241
10.3.1. Sisteme cu acțiune singulară 241
10.3.2. Sisteme complementare 243
10.4. Înregistrarea numerică 250
10.4.1. Sistemul DCC 250
10.4.2. Sistemul audio numeric DAT 253
10.4.3. Sistemul DAT fără urmărire - NT-DAT 259
10.4.4. Sistemul Scoopman fără urmărire 260
10.4.5. Sisteme de înregistrare pseudo-video 261
10.4.6. Sistemul Decca 263
10.4.7. Sistemul 8 mm VTR 263
10.4.8. Sisteme video digitale 264
10.4.9. Comparație între sistemele de înregistrare a semnalului audio numeric pe bandă magnetică 266
10.4.10. Discuri magnetice 266
10.4.11. Discurile cu citire optică 269

Anexe 279

Index 281

Principalii termeni utilizați în Tehnica sunetului 284

Bibliografie 286

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 1

NOȚIUNI FUNDAMENTALE DESPRE SUNET

1.1. INTRODUCERE ÎN ACUSTICĂ

Sunetul are o natura dualã. El poate fi considerat o deplasare a particulelor într-un mediu cum ar fi aerul, din punct de vedere fizic, sau percepția rezultată din stimularea scoarței cerebrale prin impulsuri ale sistemului nervos, din punct de vedere psihoacustic. În ceea ce privește tehnica sunetului trebuie avute în vedere ambele aspecte atât cele ale stimulului (din punct de vedere fizic), cât şi ale percepției (din punct de vedere psihoacustic). Relația dintre stimul şi percepție va fi analizată în capitolul 2, capitolul 1 fiind dedicat caracteristicilor fizice ale sunetului.

În sens restrâns, *acustica* este partea din fizică al cărei subiect este studierea producerii, propagării, perceperii şi proprietăților sunetului, adică ale acelor oscilații mecanice ale căror frecvențe sunt cuprinse între 16 şi 20.000 Hz, cu o energie care depăşeşte un anumit minim şi cu o durată de cel puțin 6×10^{-2}s, astfel încât să fie percepute de o ureche normală.

În sensul larg, în domeniul de preocupări al acusticii intră şi acele oscilații cu frecvențe ce depăşesc 20.000 Hz şi care, de regulă, sunt numite *ultrasunete*, precum şi acele oscilații cu frecvențe în domeniul audibil a căror energie nu este suficient de mare pentru a impresiona urechea, dar care pot fi înregistrate cu anumite dispozitive. Domeniul poate fi extins şi pentru oscilații sub 16 Hz, *infrasunete*, care sunt generate de trepidații.

Corpul care vibrează, radiind energie acustică în mediul elastic înconjurător, se numeşte sursă acustică.

Atunci când într-un mediu material se produce o oscilație, perturbația este imprimată, din aproape în aproape particulelor mediului înconjurător, schimbând starea de echilibru a acestora. Aceste particule se opun mişcării, dar sunt silite să cedeze presiunii create de corpul care oscilează şi să se îndepărteze de la poziția de echilibru, executând la rândul lor o mişcare oscilatorie în jurul acestei poziții. Amplitudinea şi frecvența acestor oscilații sunt egale cu cele ale oscilației corpului.

Datorită proprietăţilor elastice ale aerului, mişcarea particulelor nu se localizează numai în jurul corpului care oscilează, ci se transmite şi particulelor învecinate.

Transmiterea din aproape în aproape a unei perturbaţii, care intervine în starea de echilibru a particulelor unui mediu, se numeşte propagare. Aceasta nu implică transport de substanţă (deplasarea particulelor), ci numai transfer de energie, putând avea loc numai într-un mediu material (în vid nu este posibilă).

Se poate remarca faptul că vorbind despre sunet trebuie să distingem două laturi: latura fizică, ce pune în evidenţă faptul că sunetul este produs de oscilaţia unui corp material şi latura subiectivă legată de senzaţia de sunet produsă de oscilaţia în cauză. Este evident că prezenţa oscilaţiei nu este legată de ascultător dar senzaţia de sunet se produce numai în condiţiile în care componentele spectrale ale oscilaţiei au frecvenţele cuprinse în domeniul 20 Hz – 20 kHz. Acustica a devenit o latură semnificativă a vieţii sociale odată cu apariţia a două elemente tehnologice noi:

- Transductoarele electro-mecano-acustice, realizând transformarea semnalelor (energiei)
- Amplificatoarele de semnale electrice (mai întâi tuburile, apoi ranzistoarele şi circuitele integrate).

Este de remarcat că singurul procedeu eficient de amplificare a semnalelor sonore este cel folosind calea electrică. Astfel putem defini electroacustica ca fiind o ştiinţă a cărei obiectiv este studiul şi realizarea dispozitivelor tehnice privind: producerea, transmiterea, înregistrarea, reproducerea şi măsurarea sunetului.

O posibilă reprezentare a problemelor ce se pun în cadrul electroacusticii este prezentată în figura 1.1. Aceasta reprezintă transformările şi prelucrările la care este supus semnalul audio într-un lanţ de transmisie (prelucrare) a sunetului.

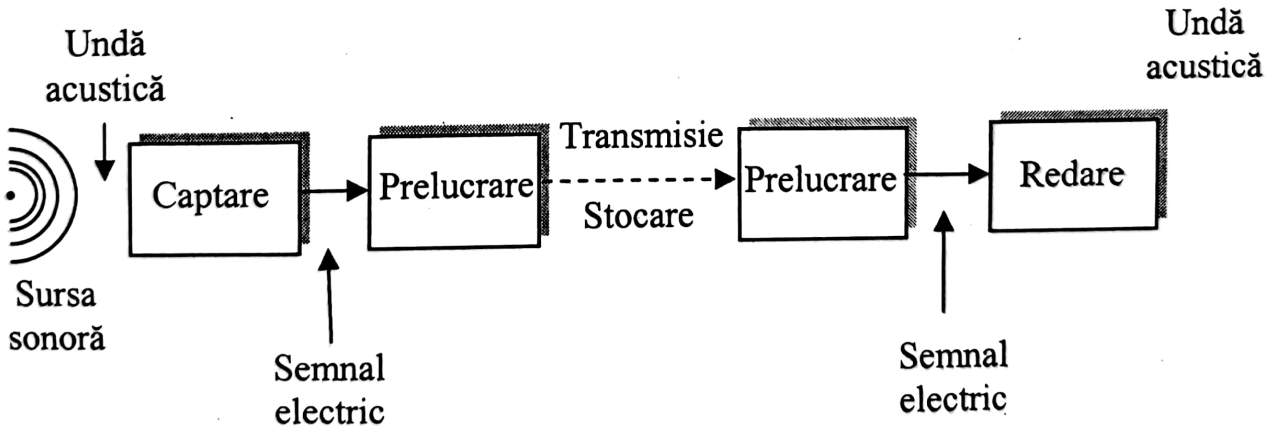


Figura 1.1. Schema bloc a unui lanţ electroacustic.

De regulă, semnalele de interes în domeniul audio de înaltă calitate, aşa numitul HI-FI (High Fidelity), sunt produse sub formă iniţială (vorbire, muzică) în încăperi

speciale, numite studiouri. În cadrul acestora se realizează ambianța sonoră, în sensul modificării (în sens favorabil sau nu) a proprietăților inițiale ale sursei. Semnalul sonor emis este captat. Principalul echipament de captare este microfonul care reprezintă un transductor ce transformă energia acustică (unda sonoră) în energie electrică (semnal electric).

Semnalul electric obținut la ieşirea traductorului (microfonului) este aplicat unui sistem de prelucrare, a cărui principal rol este acela de a transforma semnalul obținut la ieşirea microfonului într-un semnal cu parametri şi forma necesare transmiterii sau înregistrării (stocării) acestuia. În general sistemul de prelucrare presupune existența unui mixer audio, a unui amplificator precum şi a unui sistem de prelucrare (egalizor, compresor, limitator, echipament pentru introducerea de efecte, etc.). Sarcina mixerului este aceea de a realiza însumarea şi compatibilizarea tuturor surselor de semnal electric, într-una singură fără a se influența reciproc.

Semnalul astfel obținut este transmis sau înregistrat. Blocul de înregistrare sau transmisie realizează prelucrări suplimentare asupra semnalului în vederea adaptării acestuia la caracteristicile canalului de transmisie (modulație în radiofrecvență, codare şi modulație, etc.) sau a suportului de stocare (reducerea zgomotului).

La recepție (redare) semnalul obținut este prelucrat (corecții de frecvență, amplificare) pentru obținerea semnalului electric corespunzător undei acustice. Acest semnal se aplică difuzorului care este traductorul final ce transformă semnalul electric (energia electrică) într-o undă sonoră (energie acustică) cât mai apropiată de cea inițială. Sistemul de redare are o importanță fundamentală deoarece el realizează conversia finală a semnalului electric în undă acustică.

1.1.1. UNDE ACUSTICE

Unda acustică reprezintă forma sub care se propagă într-un mediu elastic oscilația (vibrația) produsă de sursă. Atunci când căutăm un model pentru propagarea undelor cel mai uzual exemplu la care ne gândim este deplasarea valurilor. Acestea sunt în mod tradițional asociate cu conceptul de undă sonoră [8].

În cazul undelor sonore, particulele mediului nu se deplasează o dată cu unda elastică, ci efectuează o mişcare în jurul poziției de echilibru, mediul nefăcând altceva decât să înlesnească transferul mişcării. Uzual, undele sonore sunt produse prin vibrații ale unor diafragme (difuzoare, caşti), corzilor vocale, arcuşurilor instrumentelor, membranelor (tobe) etc. În acest caz membrana care vibrează poate fi asociată cu un piston ca în figura 1.2. Deci, în cazul undelor sonore putem spune că transferul de energie are loc printr-o variație de presiune.

Scanned with OKEN Scanner

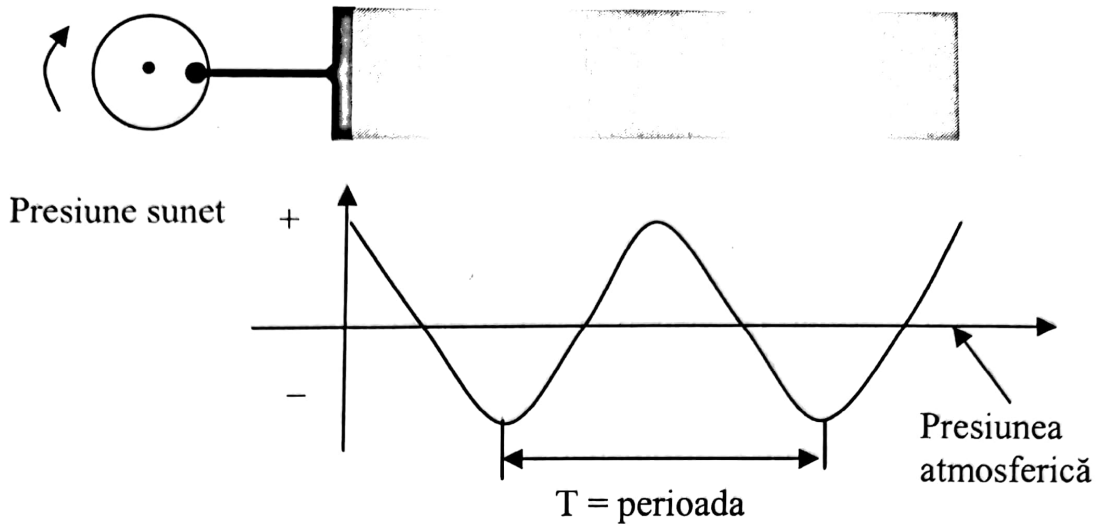


Figura 1.2. Modelarea formării undei sonore.

Deplasarea undelor poate fi descrisă ca fiind în direcție transversală atunci când deplasarea locală a particulelor are loc într-o direcție perpendiculară pe direcția de propagare, figura 1.3.a, sau longitudinală atunci când direcția de propagare este paralelă cu direcția de oscilație a particulelor, figura 1.3.b.

În medii gazoase şi lichide sunetul se propagă numai prin unde longitudinale, iar în cele solide se produc de preferință unde transversale.

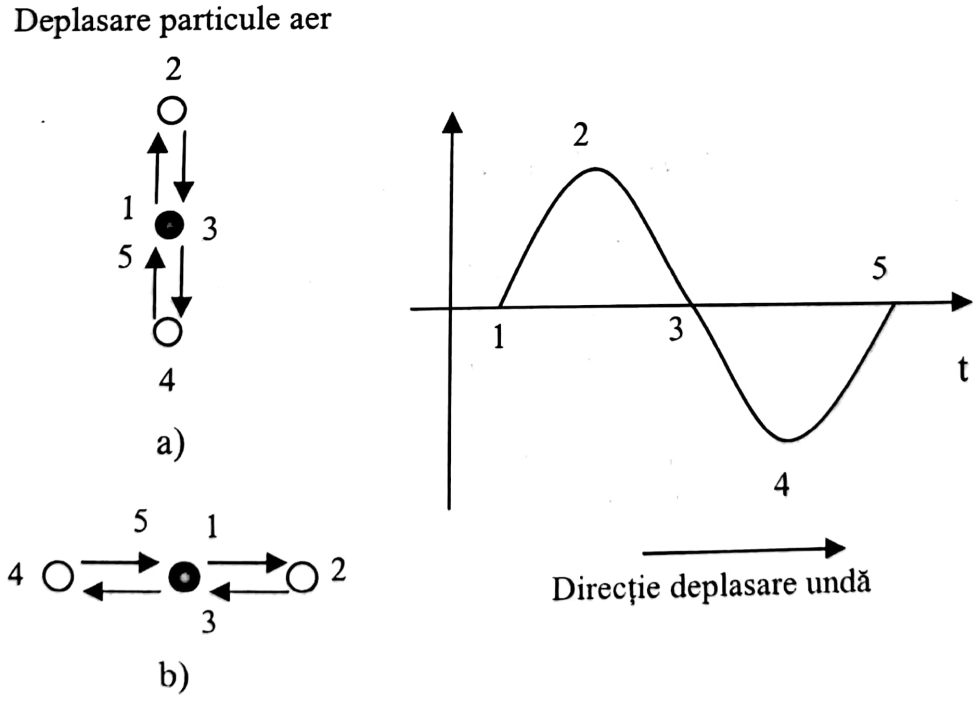
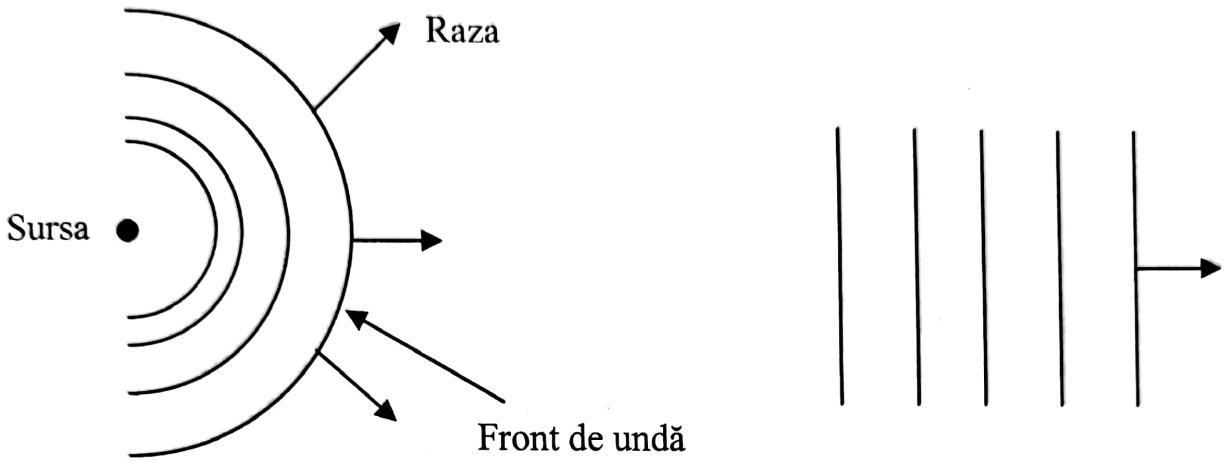


Figura 1.3. Deplasarea undei în funcție de direcția de deplasare locală a particulelor.

Suprafața de undă este definită ca fiind locul geometric al punctelor care, la un moment dat, au aceeași fază de oscilație. Aceasta înseamnă că toate punctele de pe suprafața de undă sunt echidistante față de sursă. Suprafața de undă cea mai depărtată de sursă ce produce oscilație se numește *front de undă.*



a) unde sferice b) unde plane

Figura 1.4. Forme specifice undelor sonore.

În cazul unei perturbații produse de un punct material (sursă punctiformă), fronturile de undă sunt suprafețe sferice având centrul într-un punct ce coincide cu sursa. Acestea sunt așa-numitele *unde sferice,* fig. 1.4.a. La o depărtare suficient de mare de sursă, frontul de undă poate fi confundat cu planul tangent la sferă, ceea ce conduce la obținerea *undelor plane,* fig. 1.4.b.

Raza acustică reprezintă direcția de propagare a undei și este normală pe frontul de undă corespunzător.

1.1.2. MĂRIMILE CARACTERISTICE ALE UNDELOR ACUSTICE

Viteza sunetului este viteza de propagare a unei unde acustice într-un anumit mediu. Ea este aproximativ constantă și depinde de proprietățile mediului (densitate, temperatură), notându-se cu *c* (nu are aceeași semnificație ca viteza luminii). Aceasta este virtual independentă de frecvență și rămâne constantă în întreaga gamă de frecvențe audibile, având valoarea de 340 m/s.

Lungimea de undă λ este distanța, în direcția propagării, între două puncte succesive ale unei unde periodice având o frecvență dată, între care faza vibrației diferă cu 2π radiani.

Scanned with OKEN Scanner

78007

BIBLIOTECA JUDEȚEANĂ "GH. ASACHI"

Perioada T reprezintă timpul necesar ca o particulă a mediului, pusă în vibrație, să treacă, față de poziția de repaos, prin două maxime (sau minime) în același sens (figura 1.2).

Între lungimea de undă, viteza de propagare şi perioadă există următoarea relație:

$$\lambda = c \times T. \tag{1.1}$$

Inversul perioadei reprezintă frecvența mişcării *f*, adică numărul de oscilații complete executate în unitatea de timp, exprimate în Hz. Din relația de mai sus se poate deduce:

$$\lambda = \frac{c}{f}. \tag{1.2}$$

Faza ϕ este utilizată pentru a descrie corespondența dintre poziția frontului de undă şi perioada undei acustice, realizând împreună cu amplitudinea modelul de descriere în coordonate polare a undelor. Acest parametru este important atunci când analizăm un mediu în care coexistă mai multe unde şi în special atunci când analizăm instalațiile stereofonice.

Dacă ținem cont de relația 1.2, atunci putem spune că, în spectrul audio, lungimile de undă ale sunetelor sunt cuprinse între 1,7 cm (20 kHz) şi 17 m (20 Hz).

(1) Viteza de propagare în medii gazoase

În mediile gazoase, viteza de propagare a undelor acustice se exprimă prin relația:

$$c = \sqrt{\chi \frac{P_0}{\rho_0}} \text{ [m/s]}, \tag{1.3}$$

în care:

- P_0 este presiunea gazului în stare de echilibru în N/m^2,
- ρ_0 - masa specifică a gazului în kg/m^3,
- χ - raportul căldurilor specifice, care în cazul gazelor biatomice (oxigen, azot, aer) este egal cu 1,4.

În aer, la temperatura de 22°C şi la presiune atmosferică normala, viteza sunetului este: c=344,8 m/s. La alte temperaturi ale aerului, viteza de propagare a sunetului, c, variază după legea:

$$c = 331{,}4 + 0{,}607 \times \theta \quad \text{[m/s]}, \tag{1.4}$$

în care θ reprezintă temperatura ambiantă în grade Celsius. Aşa cum spuneam, viteza de propagare a sunetului diferă de la gaz la gaz, în cazul hidrogenului aceasta este 1270 m/s, iar în cazul aburului de 405 m/s.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece viteza variază foarte puțin în raport cu temperatura, pentru stabilirea relației dintre lungimea de undă și frecvență vom considera o valoare aproximativă a acesteia de 340 m/s.

(2) Viteza de propagare în medii lichide

În mediile lichide, sunetul se propagă cu viteze ce depind de compresibilitatea și densitatea mediului respectiv. În apa de mare viteza este de 1540 m/s, iar în apa dulce de 1441 m/s.

(3) Viteza de propagare în medii solide

În mediile solide, sunetul se propagă atât sub formă de unde longitudinale (ca la gaze și lichide), cât și sub formă de unde transversale. Viteza de propagare a undelor longitudinale este dată de relația:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}\ [\mathrm{m/s}], \qquad (1.5)$$

în care: E este modulul de elasticitate al mediului în N/m^2; ρ - masa specifică a mediului în kg/m^3. Valorile lui c pentru diferite materiale utilizate în mod curent în aplicațiile tehnice sunt calculate și tabelate. În Anexa 1 sunt prezentate comparativ vitezele undei sonore în câteva medii.

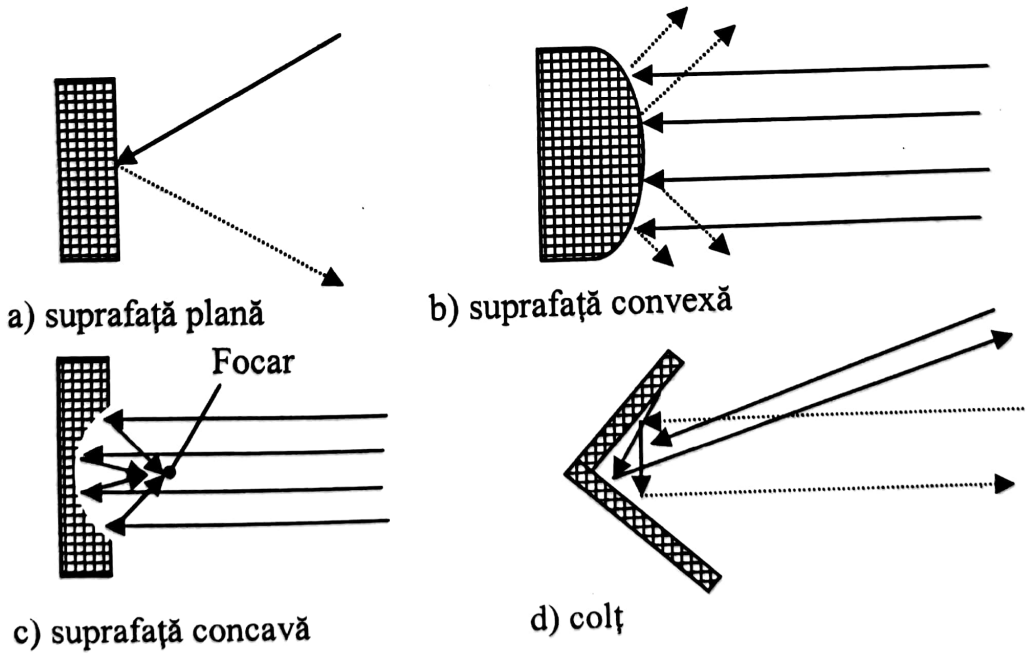
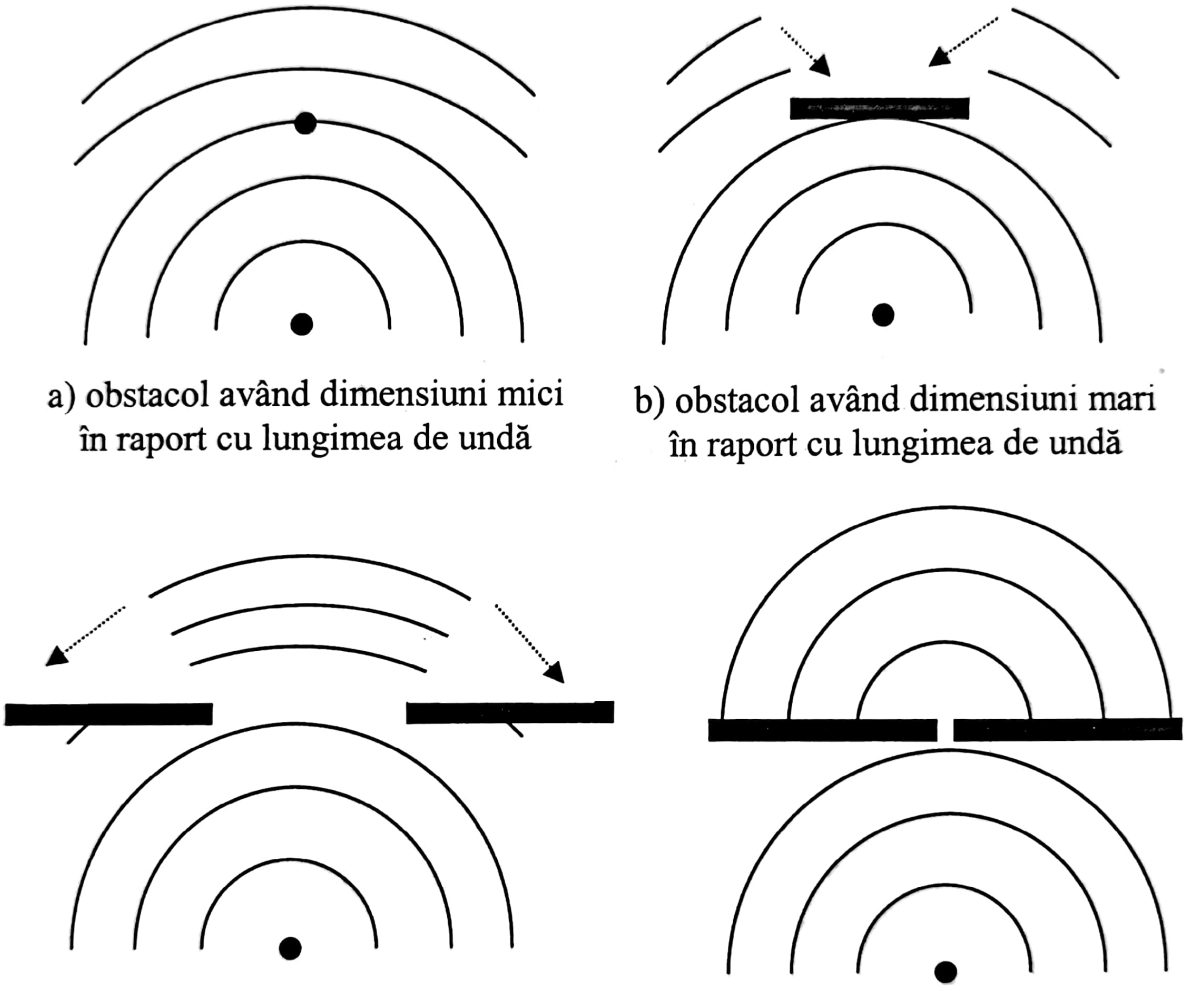


Figura 1.5. Reflexia undelor sonore în funcție de forma suprafeței.

Scanned with OKEN Scanner

1.1.3. FENOMENELE FIZICE IMPLICATE ÎN PROPAGAREA UNDELOR SONORE

Întrucât sunetul este o undă sonoră putem discuta despre efectul diferitelor obstacole sau perturbaţii asupra sa. În cazul în care unda sonoră întâlneşte o suprafaţă solidă şi netedă ia naştere o undă reflectată, dacă dimensiunea obstacolului este mai mare decât lungimea de undă (figura 1.5), sau o undă difractată în cazul în care dimensiunea obstacolelor este mai mică decât lungimea de undă (figura 1.6).



a) obstacol având dimensiuni mici în raport cu lungimea de undă

b) obstacol având dimensiuni mari în raport cu lungimea de undă

c) orificiu având dimensiuni mari în raport cu lungimea de undă

d) orificiu având dimensiuni foarte mici

Figura 1.6. Efectele diferitelor obstacole în propagarea undelor sonore.

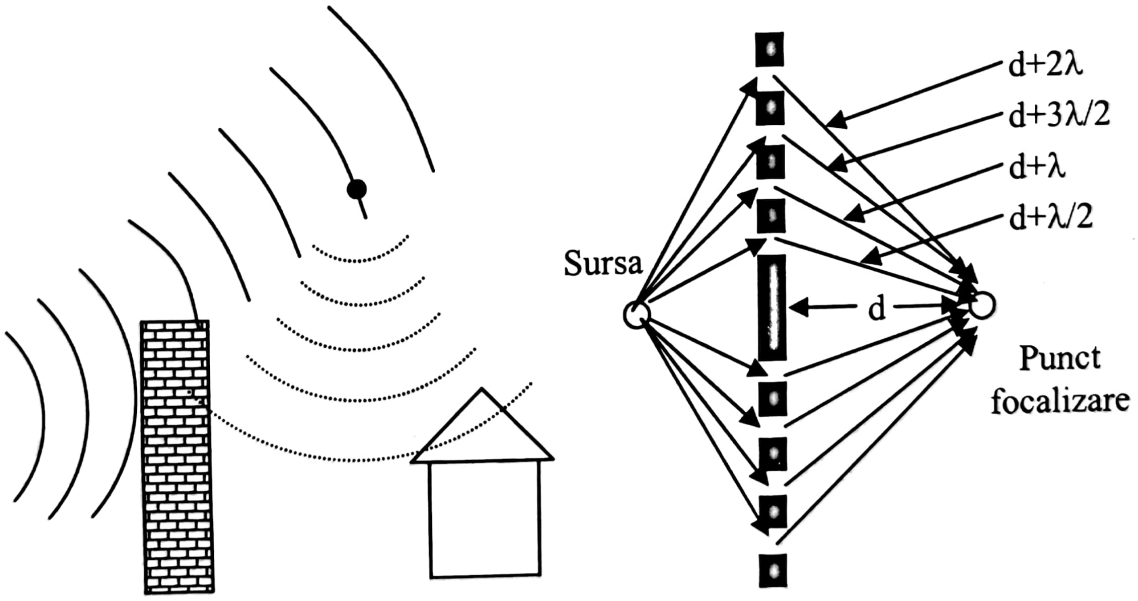
Difracţia reprezintă schimbarea direcţiei de propagare a undelor datorită apariţiei unui obstacol de dimensiuni finite. Aceasta este cu atât mai mare, cu cât raportul dintre lungimea de undă şi dimensiunile obstacolului este mai mare. Când

Scanned with OKEN Scanner

obstacolul este mult mai mic decât lungimea de undă a sunetului incident, el este ocolit cu uşurinţă şi prezenţa lui nu produce în mod practic nici o perturbare apreciabilă în câmpul sonor (figura 1.6.a)În cazul difracţiei, pe lângă efectul diferitelor obstacole asupra undei sonore prezentate în figura 1.6:

- apariţia unei umbre, datorată obstacolului, cu posibilitatea existenţei unor anumite sunete în zona umbrită (b),
- trecerea undei printr-un orificiu având dimensiunea mai mare decât lungimea de undă, cu apariţia unor anumite sunete în zona de umbră (c),
- apariţia unei noi surse de unde sferice, în cazul unui orificiu cu dimensiuni mai mici decât ale lungimii de undă (d),

Se poate menţiona apariţia undelor difractate, figura 1.7.a, precum şi a punctului de focalizare în cazul reţelei de difracţie, figura 1.7.b. Cele două efecte pot fi explicate prin aplicarea principiului lui Huygens, potrivit căruia orice punct aflat pe frontul de undă se comportă ca o sursă independentă de sunet [38]. În primul caz, zidul reflectă undele având frecvenţa înaltă deoarece lungimea de undă este mult mai mică decât zidul, dar datorită difracţiei undele de frecvenţă joasă pătrund în zona de umbră a zidului. Din acest motiv, zidurile constituie un scut pentru componentele de înaltă frecvenţă ale zgomotului.



a) difracţia undelor de frecvenţă joasă

b) obţinerea unui punct de focalizare în cazul reţelei de difracţie

Figura 1.7. Difracţia undelor sonore.

În cel de-al doilea caz, datorită difracţiei se obţine o concentrare a undelor sonore în punctul de focalizare prin însumarea în fază a acestora. Aceasta înseamnă

posibilitatea concentrării sunetului de o anumită frecvenţă similar cu ceea ce se întâmplă în cazul luminii (lentilă acustică). Placa din figura 1.7.b este astfel dimensionată, încât distanţele de la diferitele fante circulare până la focar să asigure coincidenţa în focar a undelor sonore difractate.

Cele două fenomene explică de ce difracţia afectează atât modul în care auzim, cât şi răspunsul direcţional al microfoanelor sau difuzoarelor.

O altă caracteristică a propagării undelor o reprezintă refracţia, care apare atunci când frontul de undă traversează două medii având proprietăţi diferite. Refracţia se manifestă ca o schimbare a direcţiei de propagare şi apare atunci când frontul de undă cade sub un anumit unghi pe suprafaţa de separaţie dintre cele două medii (figura 1.8). În cazul undelor sonore, refracţia are loc atunci când unda trece dintr-un mediu având densitate mai mare într-unul cu densitate mai mică. Acest lucru se datorează în principal schimbării vitezei de deplasare a undei sonore la modificarea densităţii mediului.

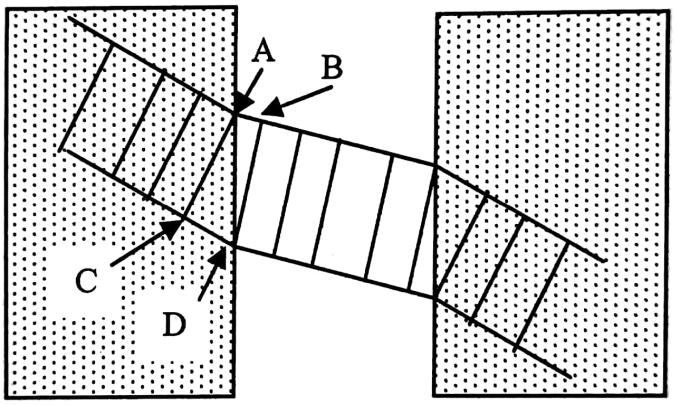


Figura 1.8. Refracţia undelor sonore.

Explicaţia este simplă. Atunci când frontul de undă ajunge la suprafaţa de separaţie, direcţia de propagare a undei sonore se modifică, întrucât pe porţiunea AB viteza este mai mică iar pe porţiunea CD viteza este mai mare.

Asupra propagării undelor sonore mai există influenţele datorate gradienţilor de temperatură ce apar ca urmare a existenţei ciclului zi noapte (figura 1.9), precum şi a vântului. Dacă în cazul gradienţilor de temperatură influenţa asupra propagării nu este atât de pregnantă, în cazul vântului, prin suma vectorială dintre viteza vântului şi a undei sonore, se poate schimba radical direcţia acesteia. Astfel, în cazul în care vântul bate în direcţia deplasării undei sonore, se pot percepe sunete la distanţe mult mai mari decât în cazul normal, iar în cazul în care direcţiile sunt contrare, distanţa de propagare scade foarte mult deoarece unda refractată care apare are aceeaşi direcţie cu vântul, conducând la atenuarea undei directe.

Scanned with OKEN Scanner

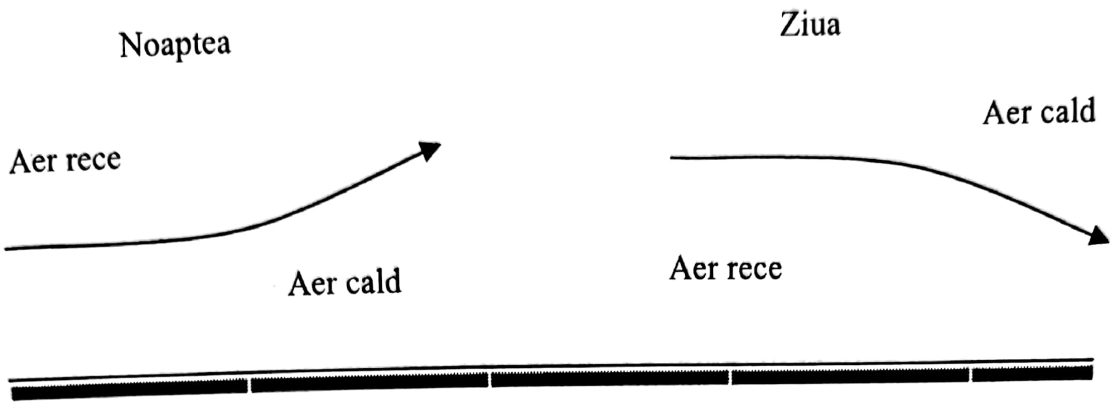


Figura 1.9. Influența gradienților de temperatură asupra direcției de deplasare a undelor sonore.

Dacă ținem cont de cele prezentate până acum, pentru undele sonore se poate aplica principiul superpoziției, care spune că într-un acelaşi spațiu pot exista mai multe unde sonore, fără ca acestea să se influențeze reciproc. În traducere, aceasta înseamnă că, dacă un anumit spațiu este traversat de mai multe unde sonore, particulele de aer vor răspunde la această acțiune ca şi cum asupra lor ar acționa o singură undă sonoră obținută ca sumă vectorială a undelor din acel spațiu. Astfel, prin combinarea a două unde pot rezulta interferențe constructive (undele sunt în fază, figura 1.10.a) sau distructive (undele sunt în antifază, figura 1.10.b).

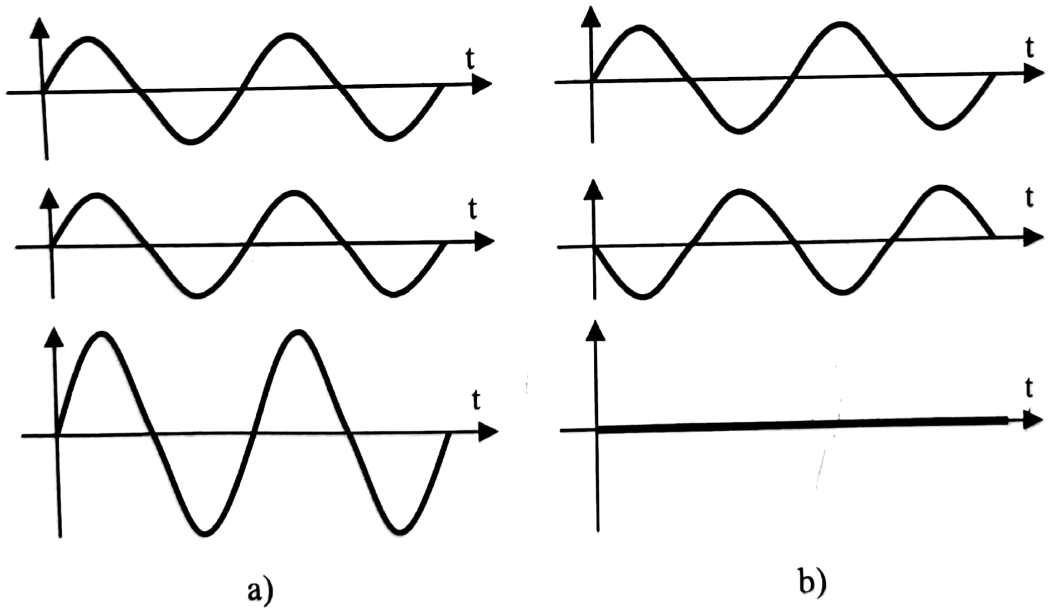


Figura 1.10. Interferențele între undele sonore: a) constructive, b) distructive.

O situație mult mai complexă rezultă în cazul în care undele sunt identice, dar complexe, cum este cazul vocii sau al celor generate de instrumentele muzicale. În

acest caz întârzierile influenţează foarte mult spectrul sunetului recepţionat. Pentru un semnal având frecvenţa dată, faza este determinată cu relaţia:

$$\Phi = 2\pi ft. \tag{1.6}$$

Dacă două semnale având faze diferite se însumează, amplitudinea semnalului rezultat depinde de defazajul dintre acestea, fiind dată de relaţia [3]:

$$A_R = A_0 \left| 2\cos\frac{\Phi}{2} \right|. \tag{1.7}$$

În relaţie este utilizat modulul deoarece amplitudinea este întotdeauna pozitivă. Prin combinarea relaţiilor (1.6) şi (1.7) rezultă:

$$A_R = A_0 \left| 2\cos \pi ft \right|. \tag{1.8}$$

Din relaţie se observă că pentru valorile multipli de $\pi/2$ ale produsului πft, amplitudinea semnalului rezultant devine nulă. În concluzie, dacă însumăm două unde identice având o întârziere de durată t între ele, vor rezulta răspunsuri în frecvenţă a căror formă depinde de durata întârzierii. În figura 1.11 este prezentat răspunsul pentru o întârziere de 0,1 ms (axa frecvenţelor nu este reprezentată logaritmic). Astfel se obţine filtrul pieptene, ce poate fi utilizat pentru crearea diferitelor efecte sonore.

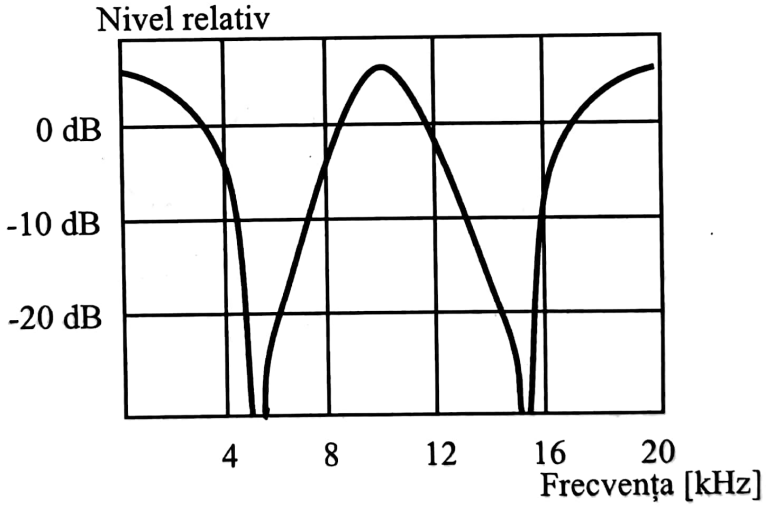


Figura 1.11. Caracteristica de frecvenţă a filtrului pieptene.

1.2. CÂMPUL SONOR

Regiunea unui mediu elastic ce se găseşte în stare de vibraţie şi în care există unde acustice poartă denumirea de *câmp acustic* (sonor).

Scanned with OKEN Scanner

Dacă presupunem că undele sonore (acustice) se deplasează într-un fluid, atunci se poate defini o mărime numită *presiune acustică* p_s, egală, în fiecare moment, cu diferența dintre valoarea presiunii în acel punct şi valoarea presiunii în absența undelor sonore. Presiunea acustică corespunde condensărilor şi destinderilor periodice din jurul punctului respectiv, datorate deplasărilor particulelor mediului.

Se defineşte ca fiind *energia acustică* W, într-o porțiune a unui câmp sonor, energia conținută în acea regiune a câmpului sonor ce apare datorită prezenței undelor sonore. Energia acustică care străbate o arie A în unitatea de timp se numeşte *flux de energie sonoră*, flux de energie acustică sau putere acustică:

$$P = \frac{W}{t}. \qquad (1.9)$$

Fluxul de energie acustică se exprimă în wați. Pentru diferite surse sonore întâlnite în practică, valorile puterii acustice exprimate în wați precum şi banda de frecvență a undelor generate sunt prezentate în tabelul 1.1.

Din analiza valorilor conținute în tabel se remarcă faptul că puterea acustică corespunzătoare vocii omeneşti este foarte redusă. Pentru obținerea unei puteri de 1 CP (736 W) trebuie să vorbească în acelaşi timp şi în acelaşi loc aproximativ 15 milioane persoane. În aceste condiții, este uşor de înțeles că zgomotul perturbator poate masca vorbirea conferențiarului sau actorului, ceea ce impune existența unui sistem de amplificare.

Partea cea mai mare a energiei sonore radiate de o sursă este cuprinsă într-o anumită bandă de frecvență proprie acelei surse. De exemplu, vocea umană este cuprinsă între 100 şi 8.000 Hz, însă porțiunea din banda de frecvențe în care este radiată 95 % din energia totală se situează sub 1.000 Hz şi cea mai mare parte a energiei vorbirii se găseşte concentrată în jurul frecvenței de 500 Hz.

Tabelul 1.1

Sursa sonoră	Puterea acustică [W]	Banda de frecvență [Hz]
Voce normală	$25 \div 50 \times 10^{-6}$	100 ÷ 8000
Voce puternică	1×10^{-3}	100 ÷ 8000
Clarinet	0,05	140 ÷ 10.000
Flaut	0,06	250 ÷ 9.000
Violoncel	0,16	70 ÷ 9.000
Trompetă	0,3	160 ÷ 9.500
Pian	0,3 ÷ 0,4	70 ÷ 6.500
Orgă	13	30 ÷ 9.000
Orchestră	50 ÷ 70	35 ÷ 14.000

Scanned with OKEN Scanner

Fluxul de energie sonoră care străbate unitatea de arie aşezată perpendicular pe direcţia de propagare a undelor sonore se numeşte densitate de flux de energie sonoră, intensitate sonoră sau intensitate acustică:

$$I = \frac{P}{A} \quad [\mathrm{W/m^2}], \tag{1.10}$$

unde A este aria străbătută.

Dacă se ţine cont că undele sonore sunt în general unde sferice [37], atunci pentru o distanţă r_1 de la sursă, intensitatea este dată de relaţia:

$$I_1 = \frac{P}{2\pi r_1^2}, \tag{1.11}$$

iar la distanţa r_2 de relaţia:

$$I_2 = \frac{P}{2\pi r_2^2}. \tag{1.12}$$

Deoarece puterea sursei este aceeaşi pentru cele două suprafeţe, înseamnă că intensitatea sonoră este invers proporţională cu pătratul distanţei faţă de sursă.

În propagare, undele sonore suferă, adesea, absorbţie. În cazul undelor plane, variaţia intensităţii cu distanţa parcursă rezultă din relaţia:

$$I = I_0 \times e^{-f^2 ax}, \tag{1.13}$$

f fiind frecvenţa, iar a un coeficient independent de frecvenţă, dependent de distanţă şi mediul de propagare.

Sursa sonoră nu este niciodată punctiformă şi, de aceea, repartiţia energiei, deci a intensităţii sonore în spaţiu, nu are în practică o simetrie sferică. Prin urmare, în privinţa formei câmpului sonor, determinant este raportul dintre dimensiunile sursei şi lungimea de undă corespunzătoare undelor emise, precum şi forma sursei.

În cazul unei surse plane cu diametru mai mare decât lungimea de undă, pot exista pe suprafaţa sursei puncte, care generează oscilaţii în opoziţie de fază, al căror efect se anulează.

Dacă distanţa faţă de punct este $\lambda/2$, atunci interferenţa se petrece în punctul în care:

$$\sin\alpha_0 = \frac{\lambda/2}{d/2} = \frac{\lambda}{d}. \tag{1.14}$$

Dacă considerăm că undele sunt periodice, atunci există şi alte unghiuri α_k la care se produce interferenţă:

$$\sin\alpha_k = \frac{(2k+1)\frac{\lambda}{2}}{d/2} = (2k+1)\frac{\lambda}{d}, \tag{1.15}$$

unde k este un număr întreg oarecare.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se reprezintă intensitatea undelor în coordonatele unui reper ortogonal, în care unghiurile sunt în abscisă, obținem curba intensității ca în figura 1.12. Calculul teoretic [14] arată că 90% din energia oscilațiilor este concentrată într-un con cu unghiul la vârf α, dat de:

$$\sin\alpha = 1{,}22\frac{\lambda}{d}. \qquad (1.16)$$

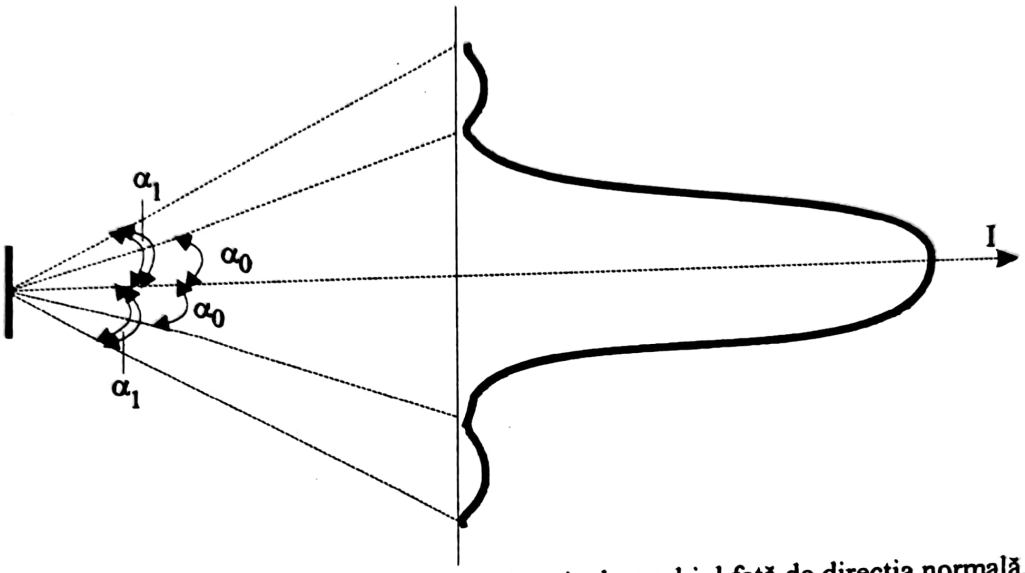


Figura 1.12. Repartiția puterii sonore în funcție de unghiul față de direcția normală.

Directivitatea emisiei este cu atât mai bună cu cât raportul $\frac{d}{\lambda}$ este mai mare, căci în acest caz α devine mic. Pentru un raport $\frac{d}{\lambda}$ mare, undele se apropie din ce în ce mai mult de unde plane dirijate perpendicular pe suprafața sursei, conținute în interiorul unui câmp sonor cilindric, care se lărgeşte datorită fenomenelor de difracție. Distanța x_0 până la care câmpul este cilindric este dată de relația:

$$x_0 = \frac{d^2 - \lambda^2}{4\lambda}, \qquad (1.17)$$

iar unghiul α care măsoară divergența câmpului este dat de relația (1.16).

De fapt, datorită fenomenelor de interferență, energia, deci intensitatea acustică, nu este uniform repartizată în câmpul sonor, mai ales în vecinătatea sursei, până la distanța x_0, dincolo de care aceste fenomene se atenuează.

Interferența între undele emise de diferite surse punctiforme, în care se poate descompune sursa S, produce zone cu intensitate acustică maximă şi zone cu intensitate acustică mult mai mică. Forma acestor zone depinde în primul rând de forma sursei, în cazul unei surse circulare ultimul maxim este în locul în care câmpul începe să devină divergent.

Scanned with OKEN Scanner

În concluzie, o sursă sonoră poate să radieze energie în toate direcțiile sau numai într-o anumită direcție, în funcție de proprietățile de directivitate ale acesteia.

Sursa nedirectivă, ale cărei sunete sunt radiate în mod egal în toate direcțiile se numeşte *radiator sferic*. Pentru simplitate, în practică se consideră radiatorul sferic redus la un punct.

Cele mai multe surse sunt însă directive, radiind mai multă energie într-o anumită direcție, constituind surse sonore directive. Pentru a fi pusă în evidență caracteristica de directivitate a sursei, se întocmeşte un grafic ce poartă denumirea de *diagramă de directivitate* şi, întrucât sunt folosite coordonate polare pentru trasare, aceasta mai poartă denumirea şi de *diagramă polară* (figura 1.13).

Pentru a obține o imagine clară a directivității în spațiu a unei surse sonore este necesară trasarea a două diagrame polare, una în planul vertical şi una în planul orizontal al sursei.

Diagrama polară se construieşte prin trasarea razelor de directivitate pe care se marchează la scară atenuările de nivel ale sunetului emis, în raport cu direcția prioritară.

Deoarece caracteristica de directivitate a unei surse variază o dată cu frecvența, este util ca această diagramă să fie trasată pentru mai multe frecvențe din banda sunetelor audibile şi în special în spectrul în care sursa radiază puterea cea mai mare. În general, directivitatea sursei creşte cu frecvența, cu alte cuvinte unghiul de radiație se îngustează cu atât mai mult cu cât frecvența sunetului radiat este mai mare.

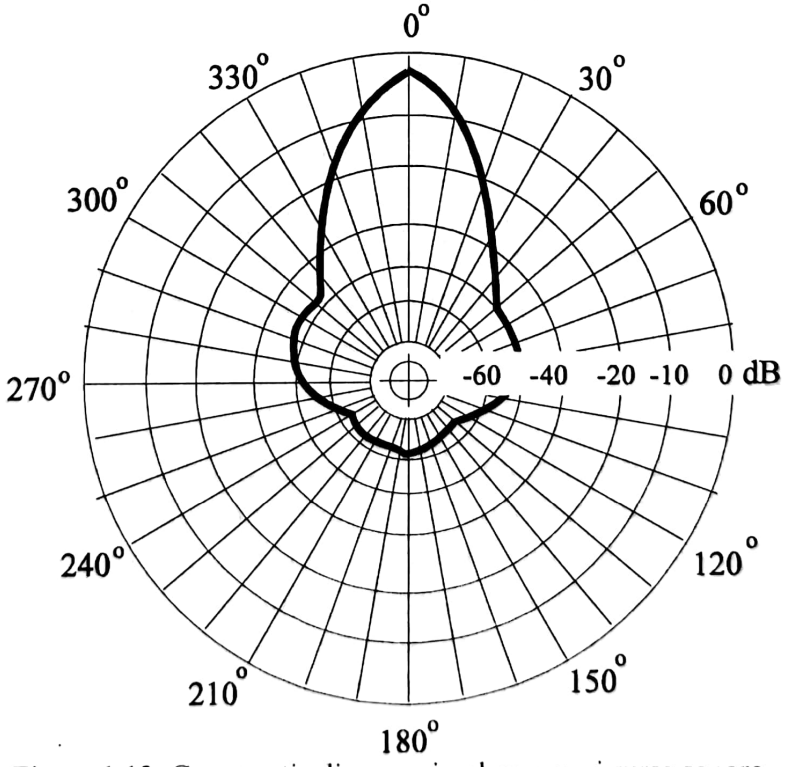


Figura 1.13. Construcția diagramei polare a unei surse sonore.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru o anumită diagramă, drept axă de referință a unghiurilor se ia direcția în care sursa radiază energia maximă, raza de zero grade a diagramei polare reprezentând deci, direcția de energie maximă radiată. Se observă că pe măsură ce creşte unghiul făcut de direcția de radiație cu axa de referință scade energia. Acest lucru este foarte important pentru instalațiile de amplificare şi distribuire a sunetului, care trebuie să țină cont de caracteristicile de directivitate ale microfoanelor şi difuzoarelor.

1.3. CARACTERISTICILE FIZICE ALE SUNETELOR

Oscilația corpurilor transmisă mediului înconjurător sub forma undelor sonore creează senzația de sunet (zgomot) în condițiile în care frecvența acestora este cuprinsă în intervalul 16 - 20.000 Hz.

În aceste condiții noțiunea de sunet are un dublu aspect: unul fizic (acustic) şi unul psihofiziologic (subiectiv). Din punct de vedere fizic, sunetul este o vibrație acustică având capacitatea de a produce o senzație auditivă (deci în limitele de frecvență şi amplitudine perceptibile urechii omeneşti). Din punct de vedere subiectiv, sunetul este o senzație auditivă produsă de vibrația acustică, tot astfel cum lumina şi culoarea sunt senzații vizuale produse de vibrațiile electromagnetice în limitele perceptibile simțului văzului.

Din punctul de vedere al compoziției spectrale şi al vibrațiilor sonore continue, sunetele se clasifică în sunete pure şi sunete complexe (sunete muzicale, acorduri, zgomote).

Sunetele pure sunt rezultatul unor oscilații acustice sinusoidale, neînsoțite de alte sunete complementare (armonici). În natură asemenea sunete sunt rare, ele putând fi produse de diapazon, generatoare electronice de ton utilizate la măsurări şi etalonări electro-acustice, precum şi de unele instrumente muzicale electronice.

În general, în natură se produc sunete complexe care sunt compuse din mai multe oscilații sinusoidale, cu frecvențe diferite, de regulă multipli ai celei mai mici frecvențe. Se numeşte *armonică* o vibrație sinusoidală a cărei frecvență este un multiplu întreg al unei frecvențe de bază numită *fundamentală*, iar *sunet complex*, sunetul care conține mai multe sunete pure, fiind compus dintr-un sunet fundamental şi mai multe armonici. Vocea umană şi instrumentele muzicale produc sunete complexe.

Zgomotele sunt vibrații acustice care nu au componente bine definite. Ele au un spectru continuu sau discontinuu şi nu sunt condiționate de rapoarte raționale simple între frecvențe. Zgomotele sunt în general supărătoare, putând apărea brusc, sub formă de şoc de presiune a aerului, urmate de o destindere amortizată (detonații, pocnete).

Scanned with OKEN Scanner

Din punct de vedere fizic, sunetul complex se caracterizează prin: frecvența celui mai intens sunet component pur, care de cele mai multe ori este cel fundamental; intensitatea acustică; componente spectrale; durată; regim tranzitoriu (modul de stabilire şi de încetare a sunetului).

1.3.1. FRECVENȚA

Frecvența sunetului este determinată de numărul de comprimări şi destinderi ale mediului elastic ce iau naştere într-o secundă şi care este egal cu numărul de vibrații pe care le produce sursa într-o secundă.

Viteza de deplasare a undei depinde de caracteristicile mediului. Având în vedere relația dintre lungimea de undă λ, frecvența f şi viteza sunetului c, rezultă că este suficientă cunoaşterea unei singure mărimi (f sau λ), pentru a o determina pe cea de-a doua (λ sau f).

Frecvența de bătaie constituie rezultatul combinației dintre două unde cu frecvențe apropiate. Aceasta este rezultatul direct al însumării sau scăderii celor două unde. Atunci când frecvența de bătaie rezultă mai mare decât 20 Hz, aceasta poate fi percepută de ureche ca un ton diferit.

O problemă deosebită apare atunci când avem două sunete cu frecvențe identice, dar a căror formă de undă diferă. În acest caz rezultă, pe lângă eliminarea parțială a unuia din sunete, şi apariția unor distorsiuni de fază care au influențe negative asupra audiției.

Atunci când o sursă sonoră se deplasează cu o viteză suficient de mare față de punctul de ascultare apare fenomenul de modificare a frecvenței sunetului.

Efectul Doppler reprezintă deviația de frecvență aparentă (modificarea înălțimii sunetului) ce apare datorită deplasării sursei sonore, a mişcării ascultătorului sau deplasării sursei şi ascultătorului. Această deviație poate fi determinată cu ajutorul relației [23]:

$$f = \frac{c - v_A}{c - v_S} f_S , \qquad (1.18)$$

în care: f este frecvența aparentă percepută;

c - viteza de propagare a sunetului;

v_A - viteza corespunzătoare ascultătorului;

v_S - viteza corespunzătoare sursei sonore;

f_S - frecvența sursei.

Când sursa se apropie de ascultător, frecvența aparentă este mai mare iar dacă se îndepărtează aceasta scade. Fenomenul este uşor observabil la trecerea unui vehicul zgomotos pe lângă un ascultător.

Scanned with OKEN Scanner

1.3.2. INTENSITATEA

Intensitatea sunetului este dată de cantitatea de energie ce trece într-o secundă prin unitatea de suprafață, perpendiculară pe direcția de propagare. Aceasta se măsoară în W/m^2 și are dimensiunea unei puteri specifice. Relația de legătură între intensitatea sunetului I și presiunea sonoră p este:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}, \qquad (1.19)$$

unde: I este intensitatea sunetului, p - presiunea sonoră instantanee în N/m^2, ρ - densitatea mediului (aerului) în g/cm^3, c - viteza de propagare a sunetului în mediul respectiv (aer) în cm/s.

Pentru compararea intensităților a două sunete I_1 și I_2 se introduce noțiunea de *nivel de intensitate sonoră* definit prin relația:

$$NI = 10 \log \frac{I_1}{I_2}, \qquad (1.20)$$

care se exprimă în decibeli (dB). Întrebuințarea logaritmului este justificată de relația logaritmică existentă între excitație și senzație (legea Weber-Fechner) [3], [38].

Față de un sunet de intensitate minimă audibilă (situat la pragul senzației auditive), luat ca referință I_{ref}, un sunet de intensitate I se află situat la un nivel de intensitate sonoră exprimat prin relația:

$$NI = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} [\text{dB}]. \qquad (1.21)$$

Nivelul de referință convențional, numit și nivel acustic, adoptat este: $I_{ref} = 10^{-16}\ W/cm^2 = 10^{-12}\ W/m^2$.

Două sunete exprimate prin nivelurile lor de intensitate (față de nivelul de referință) pot fi comparate prin diferența numărului de decibeli. În instalațiile electroacustice compararea nivelurilor între diferite puncte ale lanțului (care exprimă amplificări sau atenuări de nivel) se face, de asemenea, prin diferența numărului de decibeli. În mod curent, decibelul (dB) este utilizat mai mult pentru exprimarea atenuării, instrumentele ce indică nivelul de modulație fiind etalonate pentru a indica la valoarea maximă punctul de referință 0, scala arătând atenuări în dB sub această valoare.

Analog se poate exprima *nivelul de presiune sonoră* prin relația:

$$L = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} [\text{dB}], \qquad (1.22)$$

unde p este presiunea sunetului. Presiunea de referință corespunzătoare sunetului la pragul de audibilitate (nivelul 0 acustic) este:

Scanned with OKEN Scanner

$$p_{ref} = 2 \times 10^{-5}\ N/m^2 = 2 \times 10^{-4}\ \mu bari \qquad (20\ \mu Pa). \qquad (1.23)$$

1.3.3. STRUCTURA SPECTRALĂ

O sursă de semnal complex, în afară de sunetul fundamental cu frecvența f mai emite simultan şi sunete (armonici) ale căror frecvențe sunt multipli ai sunetului fundamental: $2f$, $3f$, ..., nf. Sunetul fundamental poartă denumirea şi de armonica I. Aşadar, sunetul complex de frecvență f se poate descompune într-o sumă de sunete pure (sinusoidale), corespunzând frecvenței f a sunetului fundamental şi frecvențelor $2f$, $3f$, ..., nf ai armonicelor respective.

Componenta spectrală a unui sunet complex este determinată de numărul, ordinul şi amplitudinea armonicelor ce îl compun. Această caracteristică permite ca două sunete complexe care au aceeaşi frecvență să fie totuşi diferențiate între ele. Un astfel de exemplu îl reprezintă diferențele între nota LA (440 Hz) dată de vioară şi cea dată de pian sau corn. Păstrarea fidelă a componentei spectrale fiind o condiție obligatorie pentru o reproducere nedeformată a sunetului.

Descompunerea matematică a unui semnal complex în componentele care-l compun se numeşte analiză Fourier sau analiză spectrală. De reținut că frecvența sunetului complex este egală cu cea a sunetului fundamental, dar forma acestuia nu trebuie să fie neapărat forma unei sinusoide figura 1.14.

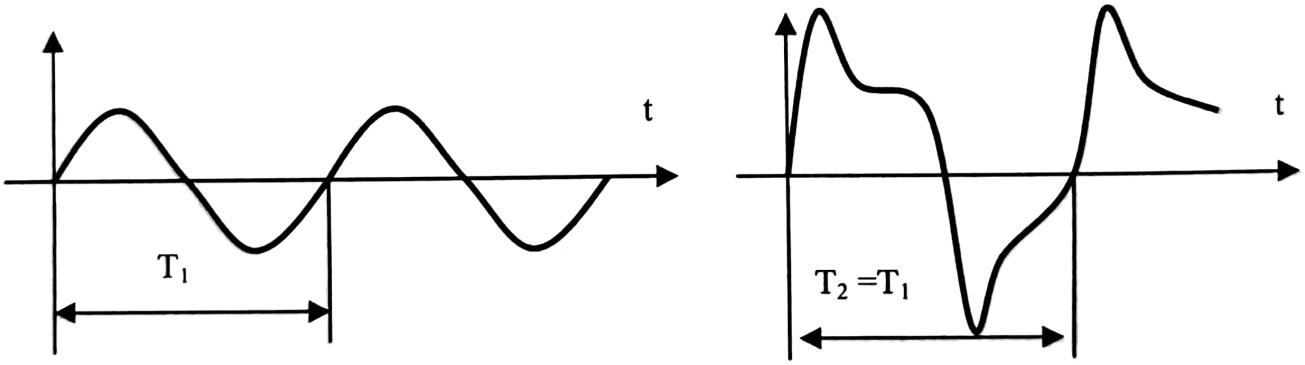


Figura 1.14. Forma de undă a fundamentalei şi a sunetului complex.

Sunetele instrumentelor muzicale nu au armonici de intensități egale, unele pot lipsi cu totul sau pot avea intensități total diferite față de cele ale altor instrumente. Această particularitate a sunetelor se traduce prin senzații auditive, determinând recunoaşterea lor.

Se numeşte *spectru acustic* (sonor) al unui sunet complex sau al unui zgomot reprezentarea în funcție de frecvență a amplitudinilor (uneori a fazelor) parțialelor sale.

Scanned with OKEN Scanner

Se numesc *parțiale* sunetele care însoțesc sunetul fundamental al unei surse sonore oarecare pe care o caracterizează. Aceste parțiale, care cel mai frecvent sunt sunetele armonice, pot fi şi nearmonice (frecvența lor să nu fie un multiplu întreg al frecvenței fundamentalei).

Spectrul sonor arată locul, numărul şi intensitatea parțialelor (respectiv armonicelor) sunetului. În spectrul sonor valoarea maximă a alternantelor pozitive ale intensității armonice se reprezintă prin lungimea liniilor spectrale.

Zgomotul care are componentele spectrale de aceeaşi intensitate şi distribuite uniform în mod continuu în întreaga bandă audibilă se numeşte *zgomot alb* (prin asemănarea cu lumina albă).

1.3.4. DURATA

O altă caracteristică a sunetului este durata. O oscilație sonoră de o anumită durată va produce o senzație auditivă de aceeaşi durată, deci cu alte cuvinte vom putea deosebi un sunet mai lung de unul scurt.

În muzică, de obicei, durata notei de o pătrime considerată ca etalon poate indica mişcarea piesei (tempoul) prin creşterea numărului de pătrimi ce intră într-un minut.

Durata intervine din punct de vedere fiziologic prin constanta de timp de răspuns a urechii, care este inferioară valorii de 25 ms pentru frecvențe cuprinse între 50 şi 10.000 Hz. De asemenea, ea intervine şi prin durata minimă a unui sunet pentru a fi recunoscut, care depinde de forma de stabilire a sunetului şi este cuprinsă, pentru sunetul stabilit progresiv, între 12 ms la 100 Hz şi 4 ms la 2 ÷ 10 kHz.

Urechea mai prezintă o particularitate privind sesizarea minimului de timp perceptibil: persistența senzației sonore după încetarea excitației. Aceasta este de aproximativ 1/15 ÷ 1/20 s şi contribuie, prin suprapunerea unei noi excitații, la efectul de prelungire al reverberației.

1.3.5. REGIMUL TRANZITORIU

Perioada de trecere de la starea de repaos la cea de oscilație permanentă sau invers poartă denumirea de regim tranzitoriu. Urechea este sensibilă la forma de creştere şi descreştere a fundamentalei şi a armonicelor unui sunet complex. În regimul tranzitoriu unele armonici cresc mai repede, altele depăşesc în intensitate chiar şi fundamentala, sau au forme neaşteptate de creştere, care, deşi se desfăşoară în perioade foarte scurte de timp, sunt sesizate de ureche. Experiențele efectuate cu diferite sunete produse brusc sau progresiv au condus la următoarele concluzii:

- forma înfăşurătoarei unei unde complexe este un factor important al percepției auditive,

Scanned with OKEN Scanner

- gradul de asprime al senzației date de sunet este influențat de forma înfășurătoarei, precum și de senzația de înălțime aparentă a sunetului.

Deoarece forma curbei înfășurătoare depinde atât de faza, cât și de amplitudinea frecvențelor componente, aceste senzații pot fi produse de o schimbare a fazei unui singur sunet parțial sau de un grup de sunete parțiale.

1.4. PROPAGAREA SUNETELOR

1.4.1. PROPAGAREA ÎN AER LIBER

Sunetul radiat de o sursă sonoră se propagă în spațiu sub forma unor unde, similar, în proiecție plană, cu undele de la suprafața apei, care iau forma unor cercuri cu centrul în punctul de oscilație și cu razele din ce în ce mai mari, având forma unei sfere cu centrul în sursa care le produce. Sferele se măresc din ce în ce mai mult și, cum ele transportă o anumită energie, este ușor de observat că această energie se repartizează pe o suprafață din ce în ce mai mare.

Datorită acestui fapt, cu cât crește distanța față de sursă, sunetul își pierde din intensitate și, la o anumită distanță de sursă, el nu se mai aude. Dacă o sursă are o putere acustică P și radiază uniform în toate direcțiile, într-un punct situat la o distanță r de sursă, intensitatea sunetului va fi:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}. \qquad (1.24)$$

În două puncte situate, față de aceeași sursă sonoră, la distantele r_1 și r_2, energiile sonore se vor repartiza pe suprafețele A_1 și A_2 ale sferelor în așa fel, încât în cele două puncte intensitățile vor fi:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}. \qquad (1.25)$$

Cu alte cuvinte, intensitatea sunetului este invers proporțională cu pătratul distanței față de sursă. Intensitățile se află în acest caz în relația:

$$I_2 = I_1 \frac{r_1^2}{r_2^2}. \qquad (1.26)$$

În realitate descreșterea intensității sunetului este mai pronunțată, datorită absorbției aerului, care este condiționată și de starea higrometrică. Atenuarea este cu atât mai mare cu cât frecvența sunetului este mai mare, manifestându-se mai pronunțat în cazul sunetelor cu frecvențe mai mari de 3.000 Hz.

Scanned with OKEN Scanner

Până acum am presupus că mediul este imobil. În cele mai multe cazuri însă aerul este în mișcare, intervenind adesea curenți de aer, care în raport cu viteza, cu direcția și cu sensul deplasării favorizează sau împiedică propagarea sunetului.

Datorită acestui fapt se consideră că distanța maximă la care se poate asigura o audiție a sunetelor emise de un difuzor, în aer liber, este de 150 m.

Dacă în calea undelor sonore apare un obstacol, acesta este în general ocolit, fenomenul purtând numele de difracția sunetului. Acest fenomen este cu atât mai evident cu cât dimensiunile obstacolului sunt mai mici în comparație cu lungimea de undă a undelor. Dacă însă obiectul are dimensiuni mai mari, undele sonore sunt reflectate întorcându-se la sursă. În acest caz, o parte din energia sonoră incidentă se reflectă constituind energia undelor reflectate, cealaltă pătrunzând în corpul ce se constituie ca obstacol.

Se constată că mărimea energiei reflectate depinde de natura suprafeței de separare a mediilor pe care se produce reflexia.

1.4.2. PROPAGAREA SUNETULUI ÎN SPAȚII ÎNCHISE

a. ABSORBȚIA

Într-o încăpere undele produse de o sursă din interior se reflectă atunci când întâlnesc suprafețele delimitatoare (pereții, tavanul, pardoseala) întorcându-se din nou în încăpere. Pentru un ascultător prezent într-o încăpere întreaga energie sonoră care nu se întoarce în încăpere se consideră absorbită de suprafețele ce delimitează încăperea. Se ajunge astfel la definirea coeficientului de absorbție sonoră (α), care reprezintă raportul dintre energia absorbită de o suprafață și energia incidentă pe acea suprafață.

Absorbția energiei sonore se datorează, pe de o parte, disipației de energie în materialul din care este construită suprafața unui perete, tavan sau pardoseală și pe de altă parte transmisiei energiei prin ecranele despărțitoare. Pentru a se putea caracteriza gradul de disipație a energiei sonore, precum și gradul de transmisie sonoră s-au definit doi coeficienți, și anume: coeficientul de disipație sonoră (δ), care este raportul dintre energia sonoră disipată în material și energia sonoră incidentă pe materialul respectiv, și coeficientul de transmisie sonoră (τ), care este raportul dintre energia sonoră transmisă printr-un ecran despărțitor și energia incidentă pe suprafața ecranului despărțitor.

Relația dintre acești doi coeficienți și cel de absorbție este:

$$\alpha = \delta + \tau . \qquad (1.27)$$

Întreaga energie care nu se absoarbe este reflectată, lucru exprimat prin coeficientul de reflexie (ρ) definit ca raportul dintre energia reflectată și energia incidentă.

Scanned with OKEN Scanner

Între coeficientul de absorbție și cel de reflexie sonoră există relația:

$$\alpha + \rho = 1. \qquad (1.28)$$

Ca urmare, un ascultător plasat în interiorul unei încăperi aude atât sunetul direct provenit de la sursa sonoră, cât și o sumă de sunete reflectate, provenite prin reflexie pe pereți, tavan și pardoseală. Datorită faptului că la fiecare reflexie aceste suprafețe absorb o anumită cantitate de energie sonoră, valoarea intensității sunetului reflectat depinde nu numai de puterea acustică a sursei sonore, ci și de absorbția din încăpere. Cu cât absorbția este mai mare, cu atât valoarea intensității sunetului reflectat scade.

Ținând cont de reflexie, intensitatea sunetului, într-un punct aflat la distanța r față de sursa de putere acustică P care radiază în toate direcțiile, este:

$$I = I_d + I_r = \frac{P}{4\pi r^2} + \frac{4P}{A}, \qquad (1.29)$$

unde A este absorbția sunetului în încăpere, calculată cu relația:

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + ... + S_n\alpha_n, \qquad (1.30)$$

în care S_1, S_2, ..., S_n sunt porțiuni de suprafețe, constituite din diferite materiale, iar α_1, α_2, ..., α_n coeficienți de absorbție (adimensionali), corespunzători suprafețelor respective.

Din examinarea relației (1.29) se constată, în primul rând, că sunetele reflectate întăresc sunetul direct, la o anumită distanță față de sursă intensitatea sunetului fiind mai mare într-o sală decât în aer liber.

Cu ajutorul relației (1.29) se poate determina și zona în care este preponderent sunetul direct față de cel reflectat și zona în care intensitatea sunetului reflectat depășește intensitatea sunetului direct. La limită, distanța față de sursa sonoră la care intensitatea sunetului direct este egală cu intensitatea sunetului indirect este [3]:

$$r_0 = \frac{\sqrt{A}}{7{,}1} \quad [\text{m}]. \qquad (1.31)$$

Deci, în apropierea sursei, în zona în care distanța de la sursă la ascultător este mai mică decât r_0, avem o preponderență a sunetelor directe. La distanțe mai mari față de sursă, superioare lui r_0, rezultă o preponderență a sunetelor indirecte.

În general, distanțele limită r_0 au valori reduse, așa încât în săli, la distanțe mai mari de circa 8-10 m, sunetul care contează este numai cel reflectat, intensitatea sunetului direct putând fi neglijată în raport cu cea a sunetului reflectat. Această constatare are importanță mare la calculul puterii instalate în cazul sonorizării unei săli.

În cazul încăperilor mici (locuințe) contează numai sunetul direct, fiind neglijat de această dată sunetul reflectat. Având în vedere că în aceste cazuri distanțele sunt mici, nu sunt necesare puteri instalate mari.

Scanned with OKEN Scanner

Raportul între intensitatea sunetului direct şi intensitatea sunetului reflectat are mare importanță în cazul captării sunetului cu microfoane. Dacă microfonul se plasează prea aproape de sursa sonoră, de exemplu un vorbitor sau un solist, sunetul apare mat, lipsit de culoare, parcă s-ar produce în aer liber, acest lucru fiind datorat preponderenței pe care o au sunetele directe.

În plus, cele mai slabe zgomote precum şi respirația vorbitorului sunt captate şi la redare apar amplificate în proporții exagerate. Dacă microfonul este plasat la o distanță prea mare de sursă, imaginea sonoră apare slab conturată, neclară, de parcă sursa s-ar pierde în depărtare.

Între aceste două situații, extreme, există o distanță optimă între sursă şi microfon şi în practică s-a constatat că această distanță este tocmai aceea la care intensitatea sunetului direct devine egală cu intensitatea sunetului reflectat.

Pornind de la această constatare s-a definit planul sonor, ca locul geometric al punctelor din spațiu pentru care raportul dintre intensitatea sunetelor directe şi cea a sunetelor reflectate rămâne constant, pentru aceeaşi putere radiată de sursă. Planul sonor optim este considerat acela care cuprinde toate punctele depărtate de sursă la distanța r_0.

b. REVERBERAȚIA

Până acum am considerat că sursa sonoră emite un sunet continuu, adică avem un regim permanent. Dacă însă la un moment dat sursa sonoră încetează radiația, sunetul produs va persista un timp în încăpere după care se va stinge complet. Într-adevăr sunetele sunt reflectate de suprafețele ce limitează încăperea şi la fiecare reflexie, o parte din energia sonoră este absorbită, aşa încât descreşterea intensității sunetului se produce în mod treptat, până în momentul în care energia sonoră rămasă este prea mică pentru a mai produce o senzație auditivă.

Prelungirea sunetului într-o încăpere, după încetarea radiației sonore, poartă numele de reverberație, iar timpul care se scurge de la dispariția sursei sonore şi până la dispariția percepției auditive poartă denumirea de timp de reverberație.

Reverberația nu trebuie confundată cu ecoul. În timp ce ecoul reprezintă reproducerea distinctă a unui sunet, ca urmare a reflexiei undelor sonore, reverberația este o prelungire a sunetului datorată numeroaselor reflexii ce se produc pe suprafețele interioare ale unei încăperi.

Astfel, datorită reflexiilor, poate apare o zonă în care sunetul reflectat este predominant față de sunetul direct. În aceste condiții putem spune că se obține în acel punct un câmp reverberant sau difuz. În tehnica înregistrării pentru a elimina influența reverberației încăperii se montează în apropierea membrilor formației difuzoare de monitorizare pentru a anula efectul acustic al camerei.

Distanța la care câmpul sonor reverberant datorat sălii devine dominant este dependentă de timpul de reverberație al sălii, care la rândul său este dependent de factorul de absorbție şi de volumul sălii.

Scanned with OKEN Scanner

Timpul de reverberație al sălii (T_R) se determină ca fiind timpul necesar câmpului sonor să scadă cu 60 dB din momentul încetării generării sunetului [38], [41].

$$T_R = \frac{0{,}16 \times V}{A} \quad [\text{s}], \tag{1.32}$$

unde V reprezintă volumul sălii, iar A absorbția totală (se presupune că materialul absorbant este distribuit uniform pe toți pereții sălii).

Dacă volumul sălii este mare, iar distanța între suprafețele de reflexie mare, coeficientul de absorbție al aerului devine important iar timpul de reverberație se calculează cu relația:

$$T_R = \frac{0{,}16 \times V}{A + xV} \quad [\text{s}], \tag{1.33}$$

unde x reprezintă factorul de absorbție al aerului care depinde de umiditate şi temperatură.

Cercetările experimentale au arătat că durata cât persistă o senzație auditivă, din momentul întreruperii ei, este de 50 ms. Din acest motiv pentru a se percepe un ecou este necesar un timp mai mare de 50 ms între momentul recepționării sunetului direct şi a celui reflectat. Această condiție mai poate fi formulată şi prin diferența de drum parcurs de sunetul direct şi cel reflectat, care trebuie să fie de cel puțin 17 m.

În plus, pentru a se putea recepționa un ecou bine precizat este necesar ca ecranul interpus în calea undelor să fie puternic reflectant, pentru ca nivelul de intensitate sonoră a sunetului reflectat să fie apropiat de nivelul de intensitate sonoră a sunetului direct.

Pe lângă acestea mai poate apărea şi un ecou de fluturare (parazit), care este determinat de reflexiile între pereții paraleli şi reflectanți ai unei săli şi care produc ecouri ce se succed la intervale de timp foarte scurte cu scăderea lentă a intensității lor.

O altă particularitate a propagării sunetelor în spații închise o reprezintă posibilitatea apariției undelor staționare. Acestea apar atunci când distanța dintre pereții camerei este egală cu $\lambda/2$ sau multipli întregi ai acestei valori. De obicei, fenomenul se manifestă la frecvențe joase şi este foarte deranjant. Pentru calculul frecvenței de rezonanță se poate utiliza relația [9]:

$$f = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2}, \tag{1.34}$$

în care L, W, H reprezintă lungimea, lățimea respectiv înălțimea camerei, iar p, q, r modurile fiecărei dimensiuni. De exemplu, modul pentru lungime corespunde valorilor p=1, q=0, r=0, iar modul oblic pentru p=1, q=1, r=0.

Din această relație se observă că pentru o anumită încăpere modurile sunt distanțate pentru frecvențe joase, devenind din ce în ce mai apropiate o dată cu creşterea acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

Rezonanțele pe frecvențe proprii produc o „întărire" a sunetului conducând la obținerea unui sunet mai plăcut. Din acest motiv, cu cât în spectrul semnalului se găsesc mai multe frecvențe proprii şi cu cât acestea sunt mai uniform distribuite, cu atât efectul de „întărire" a sunetului de către încăpere este mai util şi mai plăcut. Obținerea unui număr „suficient" de frecvențe proprii în spectrul semnalului este echivalentă cu micşorarea frecvențelor proprii care corespund la mai multe moduri. Modurile de oscilație ce nu mai pot fi identificate separat, se numesc moduri degenerate.

Ca observație este de evidențiat faptul că probleme importante apar pentru frecvențe sub 200 Hz. De asemenea, foarte important este ca dimensiunile camerei să nu fie egale (suprafețe dreptunghiulare sau pătrate), întrucât există posibilitatea apariției modurilor degenerate.

Din acest motiv, soluția o constituie construirea de încăperi asimetrice şi utilizarea materialelor reflectante, absorbante precum şi a construcțiilor cu pereți ce realizează dispersia undelor. Aceste elemente sunt în general neregularități ale pereților. Neregularitățile se prezintă prin diferite excrescențe ale tavanului, figura 1.15.a, ce pot fi aranjate sub diferite structuri, figura 1.15.b, prin acoperirea pereților camerelor cu diferite construcții sau prin utilizarea de sisteme de construcție moderne, figura 1.15.c [35].

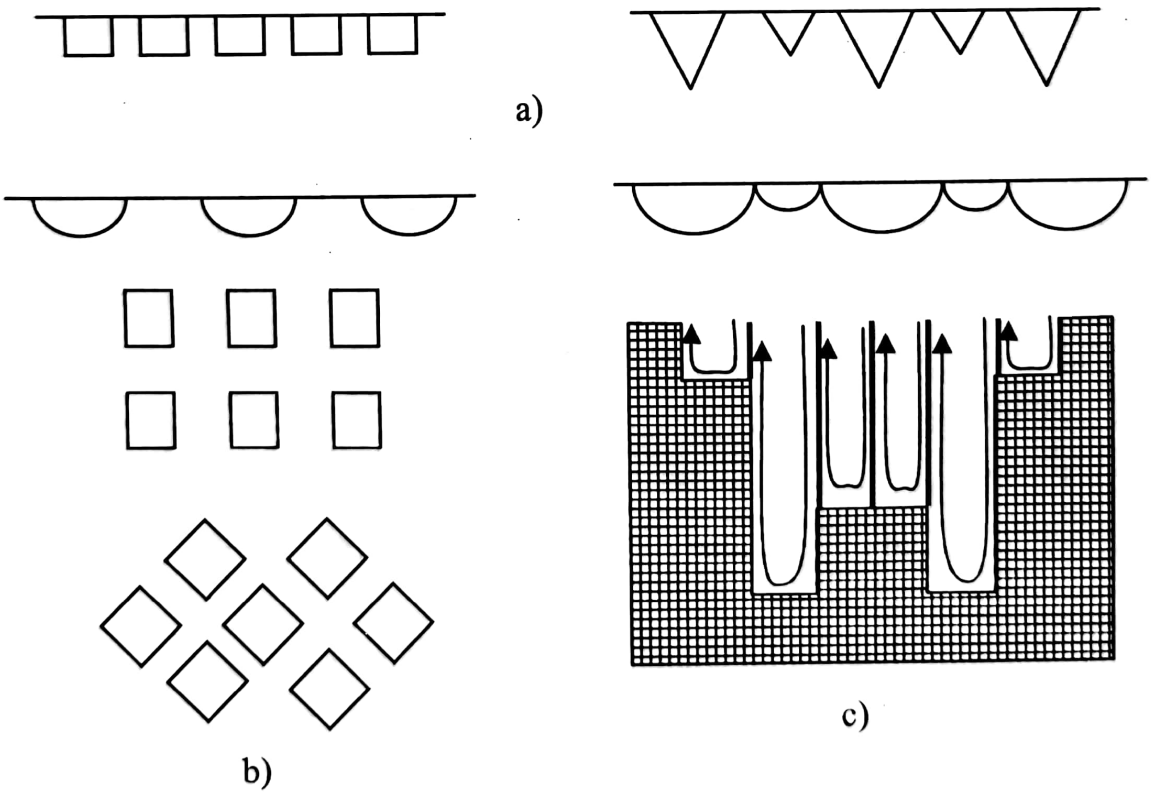


Figura 1.15. Diferite soluții pentru pereții camerelor acustice.

Scanned with OKEN Scanner

1.5. REPREZENTAREA MĂRIMILOR ACUSTICE

Dacă ținem cont de specificul urechii umane, și anume variația logaritmică a percepției (legea Weber-Fechner), rezultă necesitatea reprezentării mărimilor acustice la o scară neliniară (logaritmică).

Ideea de reprezentare la o scară neliniară este aceea de a realiza o schimbare de scară la o reprezentare a dependențelor diferitelor funcții de transfer pentru a putea include o gamă mai mare de valori pentru un același interval.

În acest scop este utilă prezentarea prin asocierea cu conceptele specifice domeniului muzical.

La reprezentarea logaritmică printr-un interval de frecvențe vom înțelege raportul lor și nu diferența de valori. În aceste condiții principalele domenii de frecvență utilizate sunt:

- decada pentru care raportul frecvențelor este 10
- octava raportul frecvențelor 2
- cvinta perfectă raportul frecvențelor 3/2
- cuarta perfectă raportul frecvențelor 4/3
- terța majoră raportul frecvențelor 5/4
- savartul 1/1000 din decadă
- semitonul 1/12 din octavă
- centima 1/100 dintr-un semiton
- tonul 1/6 din octavă.

O situație deosebită în domeniul muzical există la construcția gamei majore. Aceasta acoperă un domeniu de frecvență corespunzător unei octave și este formată din 5 tonuri și două semitonuri având următoarea succesiune:

TON-TON-SEMITON-TON-TON-TON-SEMITON.

Astfel pentru gama majoră DO avem notele:

Do – Re – Mi – Fa – Sol – La – Si - (Do)

Acestea corespund clapelor albe ale pianului (figura 1.16).

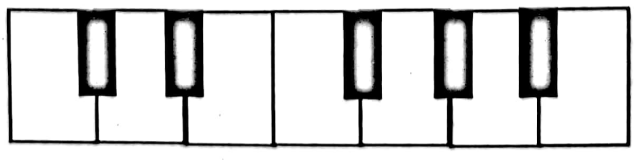


Figura 1.16 Claviatura pianului corespunzătoare unei octave

Scanned with OKEN Scanner

Clapele negre corespund celorlalte note ale gamei cromatice obținute prin împărțirea gamei în semitonuri. Practic, gama majoră cuprinde 12 semitonuri, pe lângă cele 7 note principale existând şi aşa zisele note mai înalte # (diez) şi respectiv note joase, bemol.

Din punct de vedere al gamei frecvențelor fundamentale, pianul este cel mai complex instrument întrucât generează frecvențe fundamentale ce acoperă 7 game (0 – 6). De fapt, pianul are 7 game plus notele LA şi SI inferioare, respectiv DO superior. Acestea mai putând fi reprezentate şi ca LA_{-1}, SI_{-1}, respectiv DO_7. Constituirea gamelor se face printr-o multitudine de procedee, legătura între aceste construcții fiind determinată de frecvența de acord normală de 440 Hz (nota diapazonului) corespunzătoare notei LA_3.

Astfel, ținând cont de raporturile frecvențelor dintre două note, şi anume:

$$\text{Ton} \Rightarrow \frac{f_2}{f_1} = 2^{1/6}$$

$$\text{Semiton} \Rightarrow \frac{f_2}{f_1} = 2^{1/12} = 1{,}0594$$

se pot determina frecvențele minimă şi respectiv maximă a fundamentalelor generate de pian.

Exemplu:

Pentru LA_3 frecvența este 440 Hz rezultă că pentru LA_{-1}, care este nota cea mai joasă pe care o poate genera pianul, frecvența este $\frac{440}{2^4} = 27{,}5$ Hz.

Referitor la structura gamei muzicale este bine de menționat următoarele:

- Intervalul minim dintre două note corespunde unei variații de circa 6%, iar rafinarea mai mare a octavei ar conduce la variații sub 3% ce nu mai pot fi sesizate de urechea umană.
- Timbrul notelor se realizează pe baza componentelor superioare având frecvențele corespunzătoare armonicelor de ordinul 3 – 4.

Întrucât urechea umană are o caracteristică logaritmică, este util ca, la compararea a două mărimi acustice de aceiaşi speță dar caracterizate prin valori foarte diferite, să utilizăm logaritmul raportului. Fie două mărimi fizice A şi B, se defineşte ca nivelul lui A în raport cu B logaritmul raportului dintre A şi B. Acest raport poate fi exprimat prin mai multe metode:

Scanned with OKEN Scanner

a) $\ln\frac{A}{B}$ b) $\lg\frac{A}{B}$ c) $10\lg\frac{A}{B}$

În cazul a), nivelul este exprimat în neperi [Np], un neper corespunzând unui raport egal cu *e* (baza logaritmilor naturali – John Neper); în cazul b), nivelul este exprimat în beli [B], un bel corespunzând unui raport egal cu 10 (de la inventatorul telegrafiei Graham Bell); în cazul c), nivelul fiind exprimat în decibeli [dB].

În cazul comparațiilor din domeniul acustic este utilizat decibelul, iar în telefonie neperul.

De asemenea, se poate remarca că nivelul undei acustice ce are ca bază pragul de audibilitate, are întotdeauna valori pozitive ale acestuia, pe când nivelul semnalului electric corespunzător, ce are ca bază nivelul corespunzător unui semnal cu puterea de 1 mW, va avea valori negative.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 2

PSIHOACUSTICA

2.1. MECANISMUL AUDIȚIEI

Senzația auditivă depinde de caracteristicile sursei de sunet care generează undele sonore capabile să impresioneze auzul şi de organul auditiv. Soluționarea problemelor de acustică este determinată atât de factorii obiectivi, cât şi de factorii subiectivi care intervin întotdeauna când este vorba de sunet, în accepția comună de excitație şi senzație.

Însuşirile, a căror influență intervine în aprecierile făcute, rezultă din structura urechii, proprietățile aparatului auditiv, calitățile auditive ale omului, precum şi din caracteristicile fiziologice ale sunetului.

2.1.1. ANATOMIA URECHII

Trecerea de la sunetul fizic la senzația sonoră se face cu ajutorul urechii ca organ intermediar, şi din acest motiv anatomia urechii, care dă posibilitatea explicării mecanismului auzului, este de mare interes pentru acustică.

Urechea (figura 2.1) este compusă din trei părți distincte: urechea externă, urechea mijlocie şi urechea internă.

Urechea externă corespunde pavilionului urechii, având rolul de a colecta şi dirija undele acustice spre canalul auditiv, care la rândul său conduce undele acustice spre urechea mijlocie. Canalul are forma unui tub, cu diametrul de aproximativ 7 mm şi lungimea de circa 30 mm, fiind deschis la un capăt şi închis la celălalt cu o membrană vibrantă numită timpan. Ca orice alt tub închis, şi canalul auditiv are o anumită frecvență de rezonanță, egală cu aproximativ 3.000 Hz. Deoarece presiunea acustică în dreptul timpanului este mai mare cu aproape 10 dB decât cea de la intrare (efectul de tub [3]), urechea este mai sensibilă la frecvențele ce se găsesc în jurul celei de rezonanță.

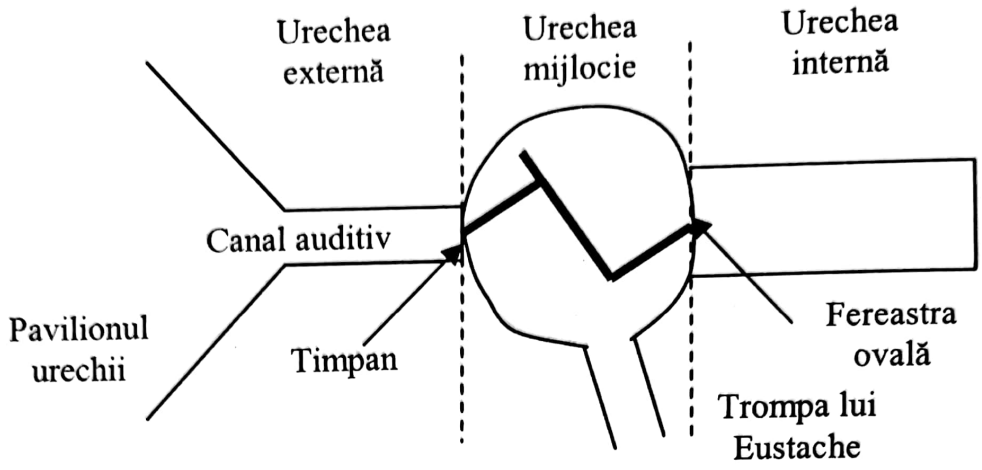


Figura 2.1. Reprezentarea schematică a urechii.

Timpanul desparte urechea externă de ***urechea mijlocie***, care este o cavitate având un volum cuprins între 1 şi 2 cm^3, în care se găsesc 3 oscioare: ciocanul, nicovala şi scărița (figura 2.2). Ciocanul se sprijină pe timpan în timp ce talpa scăriței se sprijină pe fereastra ovală, realizând în acest fel un transformator cu un raport de aproximativ 30:1 între timpan şi fereastra ovală. În felul acesta presiunea exercitată în dreptul ferestrei ovale este mult mai mare decât cea exercitată asupra timpanului. Această amplificare este creată prin două elemente:

- existența unui factor de transformare 1,3 până la 3,1 datorită sistemului de 3 oscioare aflate în urechea mijlocie,
- existența unei diferențe de suprafață între timpan (80 mm^2) şi cea a ferestrei ovale (3 mm^2).

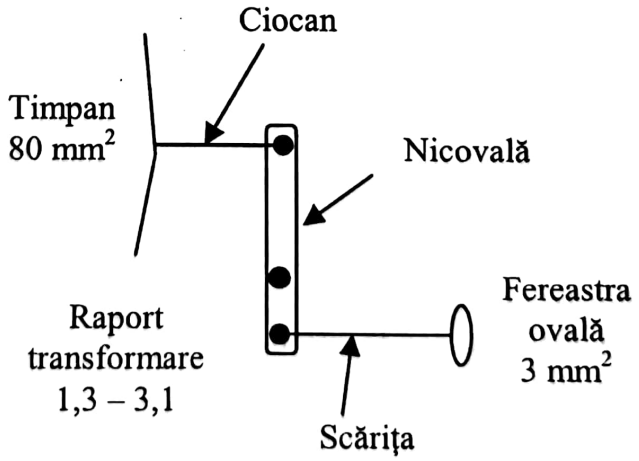


Figura 2.2. Schema de funcționare a mecanismului urechii medii.

Cavitatea care formează urechea mijlocie se află în legătură cu mediul exterior prin intermediul cavității bucale şi al unui canal numit trompa lui Eustache. Datorită

Scanned with OKEN Scanner

aerului care pătrunde prin acest canal, se stabileşte un echilibru între presiunea aerului de ambele părţi ale timpanului.

Urechea internă are trei părţi: vestibulul, canalele semicirculare şi melcul.

Canalele semicirculare nu au rol în mecanismul audiţiei, funcţia lor fiind aceea de a crea senzaţia de echilibru. Melcul are cea mai importantă contribuţie la formarea senzaţiei auditive şi este format dintr-un tub principal, lung de aproximativ 30 mm, răsucit în spirală de 2,75 ori.

Canalul mijlociu (ductus cohlerias) conţine capetele nervilor audiţiei care sunt nişte firişoare perpendiculare pe generatoarele canalului. Numărul acestor firişoare este foarte mare, circa 24.000. Deasupra lor se află o membrană asemănătoare unei aripi, prinse de o generatoare a canalului (membrana tectorială).

Toată urechea internă, deci şi canalul melcului, conţine un lichid vâscos numit limfă. Vibraţiile ferestrei ovale se transmit lichidului din canalul cohlear care provoacă mişcarea membranei tectoriale. Tremurul membranei face ca ea să atingă capetele nervilor, locul unde se produce atingerea corespunzând unei anumite frecvenţe.

Cercetările anatomice au dovedit că localizarea frecvenţelor se face de-a lungul canalului cohlear, începând cu cele mai înalte şi terminând cu cele mai joase. Desfăşurarea schematică a canalului cohlear, figura 2.3 [23], arată că lângă fereastra ovală se găsesc nervii frecvenţelor de peste 18.000 Hz, iar la capătul opus nervii frecvenţelor sub 60 Hz. În acest complicat mecanism anatomic, asupra căruia încă se mai fac ipoteze privind funcţionarea, tăria senzaţiei auditive se datorează intensităţii contactului între membrana tectorială şi capetele nervilor, iar înălţimea senzaţiei, locului unde se produce acest contact. Funcţionarea canalului cohlear este similară cu cea a unui analizor care permite captarea simultană a mai multor frecvenţe.

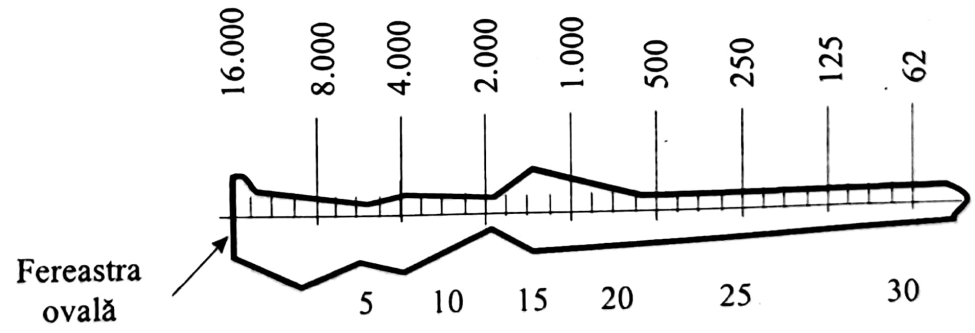


Figura 2.3. Desfăşurarea schematică a canalului cohlear.

Compararea canalului cohlear cu o harpă, în care coardele vibrează prin rezonanţă cu sunetul exterior, pare în aceste condiţii foarte aproximativă.

Scanned with OKEN Scanner

2.1.2. PROPRIETĂȚILE URECHII

Pentru a fi percepute sub formă de sunet, vibrațiile acustice care ajung la ureche trebuie să satisfacă anumite condiții privitoare la frecvență, intensitate și durată. Aceste condiții variază de la un ascultător la altul și de aceea pentru definirea domeniului de audibilitate, adică a domeniului în care vibrația acustică este percepută ca sunet, a fost necesar să se ia în considerare un ascultător otologic normal. Acesta este o persoană între 18 și 25 ani, care are auzul normal și care nu a suferit afecțiuni ale organului auditiv.

Raportându-se la ascultătorul otologic normal, s-a constatat că acesta percepe ca sunet orice vibrație acustică a cărei frecvență se găsește cuprinsă între 20 și 20.000 Hz. Intervalul de frecvență reprezintă raportul a două frecvențe. În domeniul muzical intervalele definite sunt: *octava* care este intervalul dintre două sunete a căror frecvență se află în raportul 2:1, *cvinta* perfectă în care raportul frecvențelor este 3:2, *cvarta* perfectă în care raportul frecvențelor este 4:3, *terța* majoră în care raportul frecvențelor este 5:4, *sexte* în care raportul frecvențelor este 3:5, terțe minore în care raportul frecvențelor este 5:6 etc. Omul poate, deci, percepe sunete care se întind într-o bandă de 10 octave.

Fiecare octavă este divizată în 12 note care se numesc *semitonuri* sau șase *tonuri*. Vibrațiile acustice cu frecvențe mai mici de 20 Hz (infrasunete) și cele cu frecvențe mai mari de 20.000 Hz (ultrasunete) nu se aud, dar pot fi puse în evidență cu aparate speciale.

În acustică, un interval se exprimă adesea prin logaritmul său într-o bază dată. Exemplu: intervalului de o decadă îi corespunde logaritmul zecimal (lg), intervalului de o octavă logaritmul în bază 2. În scopul simplificării procedurilor de măsură și pentru a permite compararea directă a rezultatelor se utilizează serii de frecvență normate (ISO 266). Ele sunt stabilite pe intervale succesive, deasupra și dedesubtul frecvenței de referință de 1000 Hz (Anexa 2).

În ceea ce privește intensitatea vibrației acustice, ea trebuie să fie cuprinsă de asemenea între anumite limite. Pentru ca o vibrație acustică, a cărei frecvență se găsește în limitele indicate mai sus, să poată fi percepută ca sunet, ea trebuie să îndeplinească încă o condiție: intensitatea trebuie să fie mai mare decât o anumită valoare minimă.

Această valoare minimă variază cu frecvența și, pentru un ascultător ontologic normal, s-a determinat că la frecvența de 1.000 Hz ea este egală cu 10^{-16} W/cm^2, fiind corespunzătoare unei presiuni acustice de 2×10^{-4} μbari, limită care se numește *prag de audibilitate*.

Analizând valoarea minimă a presiunii acustice ce produce o senzație de auz, se poate constata marea sensibilitate a organului auditiv al omului. Nici un microfon, care îndeplinește în tehnica sunetului o funcție similară cu a acestui organ, nu a putut fi făcut atât de sensibil (o presiune acustică de 10^{-4} μbari, exercitată asupra timpanului,

Scanned with OKEN Scanner

produce o deplasare a acestuia de 10^{-9} cm, care reprezintă a zecea parte din diametrul moleculei de hidrogen).

În cazul vibrațiilor acustice a căror frecvențe sunt mai mici de 1000 Hz, se observă că intensitatea lor trebuie să crească o dată cu scăderea frecvenței pentru a putea fi percepute (la 400 Hz intensitatea minimă este 10^{-15} W/cm^2, iar la 100 Hz aceasta este 10^{-12} W/cm^2).

Frecvența corespunzătoare sensibilității maxime este la 3.000 Hz, iar sensibilitatea mărită se observă în domeniul 2.000 - 5.000 Hz, de care se ține cont în acțiunea de reducere a zgomotului.

Dacă intensitatea vibrațiilor acustice creşte continuu, se ajunge la o anumită valoare la care se manifestă o senzație de presiune, transformată în durere, care se constituie în limita superioară a audibilității şi care reprezintă *pragul senzației dureroase*. Intensitatea vibrațiilor care produc senzația de durere este de aproximativ 10^{-4} W/cm^2 pentru 1.000 Hz, valoare ce corespunde unei presiuni acustice egale cu 2×10^2 μbari. Dacă comparăm această valoare cu valoarea presiunii atmosferice, putem vedea încă o dată sensibilitatea urechii umane.

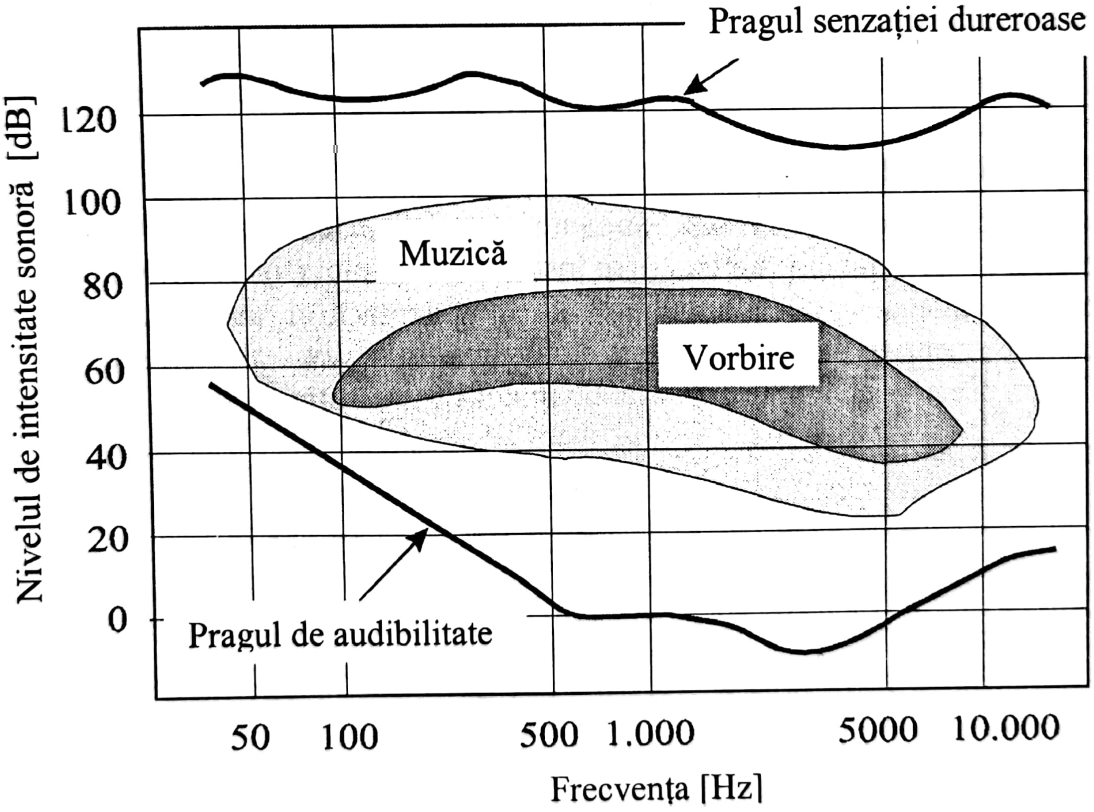


Figura 2.4. Suprafața de audibilitate a urechii.

Pragul senzației dureroase depinde, la fel ca şi pragul de audibilitate, de frecvență, însă variația este mai puțin accentuată. Ținând cont de aceasta, se poate

defini *suprafața de audibilitate* ca fiind suprafața cuprinsă între cele două curbe ce delimitează senzația de sunet.

În figura 2.4 s-au reprezentat pragurile de audibilitate, precum şi zonele corespunzătoare muzicii şi vorbirii. Se constata că:

- zonele sunt cuprinse în suprafața de audibilitate, iar pentru ca transmiterea sau înregistrarea să fie cât mai fidelă trebuie ca performanțele aparatului să țină seama atât de banda de frecvențe cât şi de dinamică,
- domeniul intensității audibile are o întindere extrem de mare (raportul între pragul de durere şi cel de audibilitate fiind de aproximativ 10^{12}).

În afară de limitele de frecvență şi intensitate, vibrațiilor acustice li se mai pune o condiție pentru a crea o senzație auditivă, şi anume aceea de durată. Pentru ca o vibrație acustică ce îndeplineşte condițiile de frecvență şi intensitate să poată fi percepută ca sunet trebuie să aibă o durată de cel puțin 60 ms. Dacă durata este sub această valoare, senzația este de pocnet.

La fel ca şi ochiul, urechea are o anumită inerție la dispariția excitației, senzația produsă continuând să persiste o durată de 50 - 60 ms după încetarea excitației.

2.1.3. PARTICULARITĂȚILE URECHII

a. NELINIARITATEA

Se observă că peste anumite niveluri de intensitate, un sunet pur aplicat urechii generează senzații în care sunetul pare însoțit de armonici (figura 2.5). Tot astfel, două sunete pure intense aplicate simultan nu se aud singure, ci însoțite de armonici şi de sunete suplimentare de frecvențe egale cu suma respectiv diferența sunetelor inițiale. Explicația acestor fenomene este dată de ipoteza neliniarității urechii.

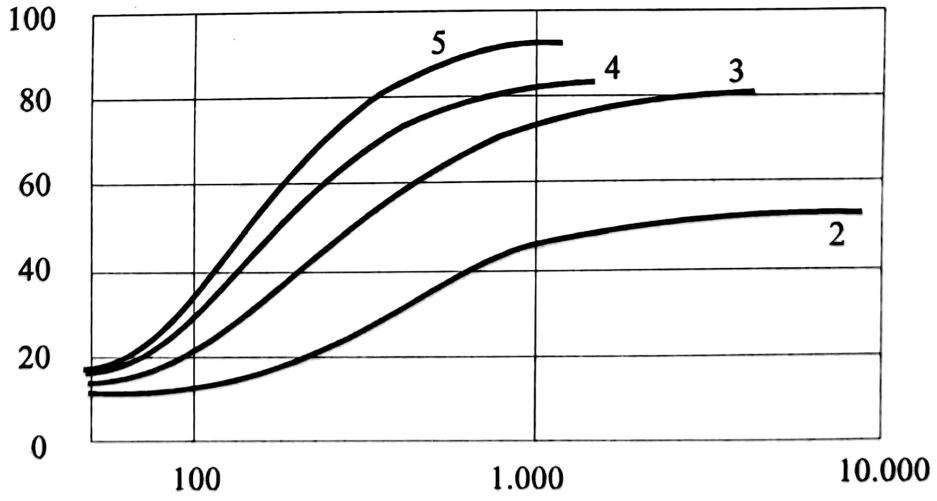


Figura 2.5. Nivelurile intensității sonore la care apar armonici de diferite ordine în funcție de frecvență.

Scanned with OKEN Scanner

Proba neliniarității urechii se poate face prin perceperea bătăilor a două sunete practic inaudibile. De exemplu, sunetele de 20 şi 19 kHz, care atunci când sunt ascultate succesiv nu se aud, iar când sunt ascultate simultan se aud ca un sunet de 1 kHz.

Existența neliniarității duce la concluzia bizară că audiția unui sunet pur cere ca sunetul excitator să fie complex şi compus din armonici care se găsesc în opoziție de fază cu cele produse de ureche.

b. SENSIBILITATEA LA FAZĂ

Deoarece, aşa cum am văzut, pentru compunerea sunetelor se poate aplica principiul superpoziției, schimbarea fazei unui semnal sonor care coexistă împreună cu alte semnale conduce la schimbarea totală a undei rezultante. Datorită acestui fapt putem spune că urechea este sensibilă la schimbarea fazei semnalului.

c. VARIAȚIA MINIMĂ A PERCEPTIBILITĂȚII

Nivelul de intensitate sonoră poate varia fără ca urechea să simtă, dacă variația rămâne sub aşa-numitul *minim perceptibil*. Acest minim depinde de frecvență şi de nivelul de tărie pe care îl are senzația de variație a intensității. Această mărime este interesantă pentru determinarea gradului de aproximație în diferite situații practice (la niveluri de tărie a senzațiilor de sub 30 dB, variația minimă perceptibilă este de 2-3 dB).

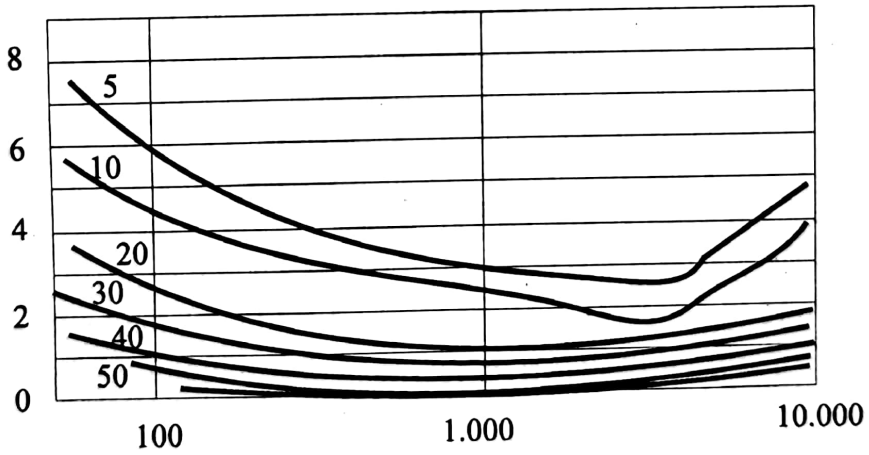


Figura 2.6. Percepția minimă a nivelului de intensitate sonoră.

d. VARIAȚIA MINIMĂ PERCEPTIBILĂ A FRECVENȚEI

Se constată că urechea nu simte variația frecvenței unui sunet fizic, dacă această variație rămâne sub o anumită valoare. Acest minim perceptibil în variația frecvenței depinde de frecvența existentă înainte de variație şi de nivelul de tărie al senzației sonore. Din curbele ce reprezintă variațiile procentuale ale frecvenței în funcție de

Scanned with OKEN Scanner

tărie şi frecvenţă (figura 2.6), rezultă că pentru niveluri mari şi frecvenţe mijlocii (niveluri mai mari de 40 dB şi frecvenţe peste 100 Hz), este perceptibilă chiar şi o variaţie de 0,3 %, care are o importanţă deosebită în stabilirea deviaţiei admisibile dintre frecvenţa emisă într-o încăpere şi frecvenţa cu care răspunde încăperea.

e. DIFERENŢA MINIMĂ PERCEPTIBILĂ ÎN DURATA SUNETULUI

Un sunet pur, indiferent de frecvenţa sa, nu poate fi sesizat de ureche dacă are o durată mai mică de 60 ms, însă urechea poate totuşi să perceapă diferenţe de durată între două sunete chiar şi de 10 ms. Persistenţa senzaţiei sonore după încetarea excitaţiei este de ordinul 50 ms. Valorile de minim perceptibil sunt foarte importante în cazul studiului regimurilor tranzitorii.

f. EFECTUL DE MASCARE (ACOPERIRE)

Perceperea unui sunet care interesează este stânjenită de apariţia unui sunet nedorit, perturbator, al cărui efect este echivalent cu slăbirea intensităţii sunetului util cu un număr de decibeli egal cu diminuarea aparentă suferită de nivelul iniţial. Rezultatul acţiunii sunetului perturbator se numeşte efect de acoperire sau de mască, nivelul iniţial al sunetului acoperit numindu-se nivel acoperit, iar nivelul perturbator se numeşte nivel acoperitor. Valoarea creşterii nivelului acoperit până la restabilirea condiţiilor de audibilitate iniţiale se numeşte nivel de acoperire, deoarece acţiunea de ridicare egalează acţiunea de scădere produsă de efectul de acoperire.

Cele mai importante observaţii cu privire la efectul de mascare sunt:

- efectul de acoperire este maxim pentru frecvenţele utile apropiate de sunetul acoperitor;
- efectul de acoperire este practic nul, dacă nivelul acoperitor nu a atins o anumită valoare critică; după ce acest nivel a fost depăşit nivelul de acoperire creşte mai întâi încet, apoi din ce în ce mai repede;
- efectul de acoperire este mult mai slab pentru frecvenţele utile situate mai jos de frecvenţa perturbatoare decât pentru frecvenţele utile mai înalte decât ea;
- efectul de acoperire prin frecvenţe joase a frecvenţelor înalte este mult mai important decât cel de acoperire, prin frecvenţe înalte, a frecvenţelor joase;
- efectul de acoperire creşte o dată cu lăţimea benzii până la o anumită lăţime critică, după care el rămâne constant.

2.1.4. AUDIŢIA BINAURALĂ

Omul aude orice vibraţie acustică din mediul înconjurător prin intermediul urechii. Ca urmare toate proprietăţile şi particularităţile organului auditiv sunt proprietăţi şi particularităţi ale audiţiei. Datorită faptului că omul percepe vibraţiile

Scanned with OKEN Scanner

acustice din mediul înconjurător cu ajutorul a două urechi şi a faptului că senzaţia auditivă percepută este prelucrată de creier, audiţia omului are unele însuşiri specifice.

În primul rând, omul, având două organe identice care pot fi excitate de undele sonore produse de aceeaşi sursă, are posibilitatea să localizeze în spaţiu sursa sonoră prin aprecierea distanţei şi a direcţiei. Această calitate este ceea ce se numeşte audiţie binaurală. Explicaţia perceperii direcţiei în plan orizontal este simplă. Dacă ascultătorul are sursa sonoră în faţa sa, adică în planul median al capului, undele sonore produse de sursă lovesc timpanul în acelaşi moment, iar intensităţile sunetului sunt egale.

Dacă sursa sonoră se găseşte în dreapta ascultătorului, undele sonore produse parcurg distanţe diferite pentru a ajunge la cele două urechi, ceea ce pe lângă întârzierea de excitare a timpanului produce şi o atenuare a intensităţii sunetului. Ca o consecinţă a acestui fapt, ascultătorul îşi dă seama de direcţia din care vine sunetul.

Deşi distanţa dintre cele două urechi este foarte mică, circa 20 cm şi în consecinţă diferenţa de timp este extrem de redusă, urechea umană percepe această diferenţă. Experienţele au arătat că diferenţa de timp minimă percepută de organul auditiv este de 3×10^{-5} s, ceea ce permite aprecierea unei deviaţii de 3° a direcţiei sursei faţă de planul median al capului. Dacă sunetele sunt în regim staţionar, determinarea direcţiei este mai puţin precisă, şi chiar destul de dificilă în încăperi foarte rezonante [38].

Aprecierea distanţei este mai dificilă şi s-a constatat experimental că numai distanţele mai mici de 2 m pot fi determinate cu precizie, ea fiind determinată de intensitatea sunetului, de mediul înconjurător şi de distanţa faţă de sursă. Când auditorul este şi spectator, imaginea vizuală este predominantă în procesul de localizare a sursei şi suplineşte adesea dificultăţile de localizare auditivă.

În localizarea sursei pot interveni uneori şi iluzii acustice. Acestea apar, de obicei, în cazul surselor sinfazice care, atunci când sunt egale în intensitate, dau impresia unei surse unice invizibile, situată ca poziţie în mijlocul surselor reale vizibile. Această proprietate a auzului de a contopi mai multe surse reale într-o sursă fictivă este foarte utilă pentru realizarea sterefoniei pe două canale.

O altă calitate a audiţiei omului este ceea ce se numeşte audiţie inteligentă. Omul posedă facultatea de a-şi concentra atenţia asupra anumitor sunete, de a izola anumite sunete din ansamblu. De exemplu, din ansamblul unei orchestre simfonice un ascultător poate să urmărească numai sunetul viorilor sau numai al instrumentelor de suflat, după cum într-un auditoriu, pentru a asculta prelegerea unui conferenţiar, atenţia noastră este concentrată asupra cuvintelor rostite de acesta, fără a intercepta anumite zgomote care ar putea proveni din afară sau de la diferite surse interioare.

Scanned with OKEN Scanner

2.2. CARACTERISTICILE FIZIOLOGICE ALE SUNETULUI

Vibrațiile acustice ale aerului sunt transformate de organul auditiv al omului în senzații de sunet. De aceea este necesar ca acestea să satisfacă anumite condiții privitoare la frecvență, intensitate și durata lor. Ca urmare, este necesar să definim caracteristicile fiziologice ale unui sunet, stabilind corelația ce există între aceste mărimi și mărimile fizice corespunzătoare excitației (tabelul 2.1).

Tabelul 2.1

Mărime obiectivă	Mărime subiectivă
Frecvență (sunet pur)	Înălțime
Presiune, intensitate	Tărie
Structură spectrală (sunet complex)	Timbru

Deci, din punct de vedere subiectiv, un sunet continuu are următoarele caracteristici: înălțimea, tăria și timbrul.

S-a constatat însă, că suprimarea părții tranzitorii inițiale din desfășurarea în timp a formării și menținerii sunetului face ca timbrul mai multor instrumente să devină același, deși înainte de suprimare era diferit pentru fiecare instrument în parte. Pe de altă parte, pe lângă caracteristicile enumerate mai sus, senzația auditivă mai are și alte însușiri, determinate de regimul tranzitoriu din perioada de formare și cea de dispariție a sunetului, de durata emiterii sunetului și de uniformitatea cu care este emis.

2.2.1. ÎNĂLȚIMEA SUNETULUI

Înălțimea unui sunet este însușirea senzației auditive după care sunetele pot fi ordonate pe o scară de la sunete joase la sunete înalte. Înălțimea unui sunet este dependentă de frecvența vibrației acustice ce a produs acest sunet. Urechea apreciază două sunete ca fiind de înălțimi egale, când ele au aceeași frecvență și ca fiind de înălțimi diferite, când frecvențele vibrațiilor ce le-au produs sunt diferite.

Experiența însă a arătat că această diferență nu este produsă numai de frecvență, ci mai depinde și de nivelul presiunii sonore și de forma undei. Din acest motiv, două vibrații acustice de aceeași frecvență, însă de niveluri de intensitate diferită, nu vor fi percepute ca având aceeași înălțime. Cu cât nivelul intensității este mai mare, cu atât sunetul pare mai înalt, din acest motiv nu există o corelație simplă între înălțimea sunetului și frecvență.

Scanned with OKEN Scanner

Căutându-se o mărime fiziologică care să definească înălțimea unui sunet, s-a introdus noțiunea de *mel* (de la melodie). Reperul pentru definiția melului îl constituie înălțimea de 1000 meli, corespunzătoare unui sunet a cărui frecvență este de 1.000 Hz și al cărui nivel de presiune este de 60 dB. Înălțimea sunetului ce pare de *n* ori mai înalt decât cel corespunzător unui mel poate fi exprimată prin *n* meli. În figura 2.7, în care este reprezentată legătura între frecvență și mel se observă legătura aproximativ liniară pentru domeniul de frecvență cuprins între 1.000 și 5.000 Hz, respectiv o neliniaritate pronunțată pentru frecvențe joase.

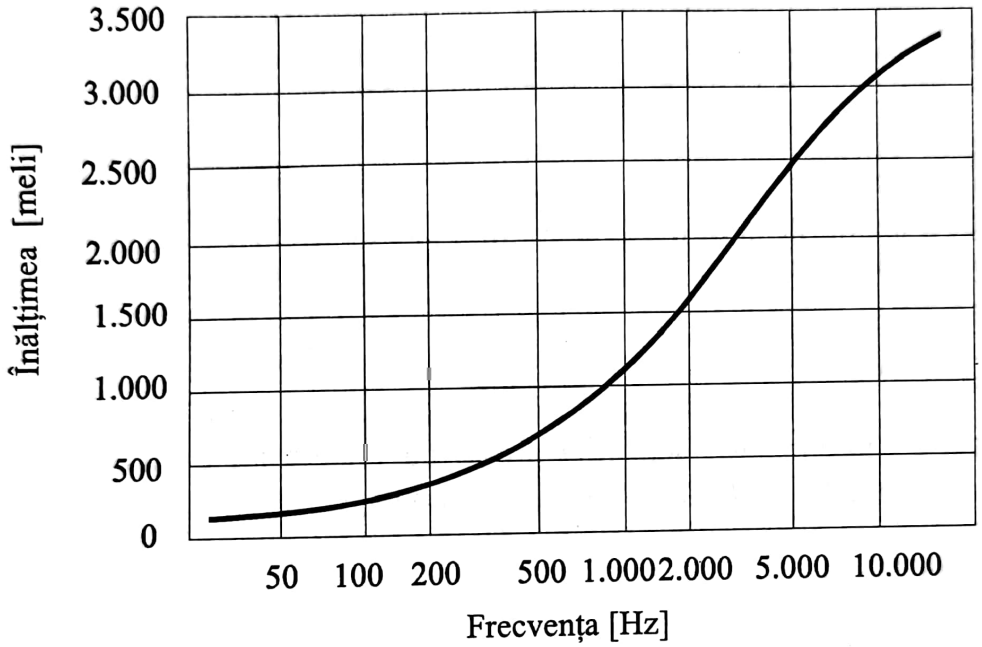


Figura 2.7. Legătura între frecvență și mel.

De asemenea, s-a constatat că înălțimea unui sunet complex depinde mai mult de frecvența relativă a diferitelor componente având frecvența cea mai scăzută.

O influență importantă asupra percepției înălțimii unui sunet o are valoarea minimului perceptibil la schimbarea frecvenței excitatoare, evidențiindu-se faptul că organul auditiv este mai sensibil la schimbările de frecvențe din domeniul frecvențelor înalte superioare lui 1.000 Hz, în timp ce sensibilitatea scade pe măsură ce frecvența se micșorează.

În general, sensibilitatea la variația înălțimii descreşte o dată cu nivelul de intensitate sonoră.

2.2.2. TĂRIA SUNETULUI

Tăria este acea însușire a senzației, legată de intensitatea acustică, care permite ordonarea sunetelor pe o scară, de la cele mai slabe la cele mai puternice. Cu cât intensitatea acustică este mai mare, cu atât sunetul pare mai puternic. Dar tăria mai

Scanned with OKEN Scanner

depinde şi de frecvenţa vibraţiei excitatoare şi de compoziţia sunetului (exemplu, o vibraţie de 1.000 Hz având un nivel de 30 dB este percepută ca sunet, pe când o vibraţie de 100 Hz având acelaşi nivel, situându-se sub nivelul de audibilitate, nu este percepută ca sunet).

Legătura între intensitatea I şi tăria sunetului N este dată de Legea Weber-Fechner [23], care spune că „creşterea minimă perceptibilă a excitaţiei este proporţională cu intensitatea excitaţiei", adică:

$$\frac{\Delta I}{\Delta N} = KI \,. \tag{2.1}$$

Dacă punem relaţia sub forma:

$$\Delta N = \frac{1}{K}\frac{\Delta I}{I}, \tag{2.2}$$

şi admiţând că creşterile minime perceptibile ale senzaţiei sunt egale, se obţine prin integrare relaţia:

$$N = \frac{1}{K}\ln I, \tag{2.3}$$

care ne arată că intensitatea senzaţiei creşte cu logaritmul excitaţiei. Aşadar, dacă intensităţii de excitaţie I_1 (mărime fizică) îi corespunde intensitatea de senzaţie N_1 (mărime fiziologică), iar unei intensităţi I_2 ($I_2>I_1$) îi corespunde intensitatea de senzaţie N_2, între aceste două mărimi poate fi scrisă relaţia:

$$N_2 - N_1 = \frac{1}{K}\ln\frac{I_2}{I_1}. \tag{2.4}$$

Deşi presupunerile pe baza cărora s-a stabilit această relaţie nu sunt riguros adevărate (creşterile minime perceptibile ale senzaţiei nu sunt egale), ea are o importanţă deosebită deoarece pe aceasta se bazează sistemul de măsurare a intensităţii sunetului şi măsurile de reducere a zgomotului.

O altă mărime fiziologică corespunzătoare mărimii fizice nivel de intensitate este *nivelul de tărie*. Acesta este nivelul intensităţii sonore a unei vibraţii acustice de 1.000 Hz, apreciată de un ascultător otologic normal ca având aceeaşi tărie cu aceea a sunetului considerat. Expresia matematică a nivelului de tărie este:

$$\Lambda = 20\lg\left(\frac{p}{p_0}\right)_{f=1.000\,Hz} = 10\lg\left(\frac{I}{I_{ref}}\right)_{f=1.000\,Hz}, \tag{2.5}$$

unde: p este presiunea acustică (I intensitatea sonoră corespunzătoare) a unui sunet pur de 1.000 Hz, apreciat de un ascultător ca având o intensitate egală cu a sunetului considerat, iar $p_0=2\times10^{-4}$ μbari şi $I_{ref}=10^{-16}$ W/cm^2.

Scanned with OKEN Scanner

Unitatea de măsură a nivelului de tărie este fonul. Fletcher şi Munson au determinat şi trasat pe diagrama de audibilitate curbele de egal nivel de tărie (izofonice) [5], ceea ce este de observat fiind egalitatea între nivelul de tărie în foni şi nivelul de intensitate sonoră în decibeli pentru frecvenţa de 1.000 Hz.

Aceste curbe, care reprezintă corelaţia dintre excitaţie şi senzaţia auditivă, au fost stabilite în condiţiile unor sunete pure, ce se propagă de la sursă sub formă de undă plană, progresivă, într-un câmp liber. Cum în foarte multe cazuri ascultătorul nu se găseşte într-un câmp liber, ci într-un câmp difuz sau foarte apropiat de câmpul difuz (cazul audiţiei în spaţii închise), curbele de tărie se modifică. În general, în domeniul uzual de frecvenţă 100 - 10.000 Hz, se poate considera că o persoană percepe schimbarea tăriei sunetului atunci când nivelul intensităţii sonore variază cu 1 dB, dacă nivelul este mai mare de 30 dB, şi cu 2-3 db, dacă nivelul intensităţii sonore este sub 30 dB.

Deoarece nivelul de tărie nu ne dă o imagine clară a senzaţiei de auz, se foloseşte pe scară largă mărimea numită tărie, care se exprimă în soni. Un son reprezintă valoarea tăriei unui sunet având o frecvenţă de 1.000 Hz şi un nivel de tărie de 40 foni. Tăria unui sunet este de n soni dacă acesta este apreciat de un ascultător ca fiind de n ori mai puternic decât sunetul având un son.

Relaţia între tăria (N) în soni şi nivelul de tărie (Λ) în foni este:

$$N = 2^{\frac{\Lambda - 40}{10}} \quad \text{sau} \quad \lg N = 0{,}03\Lambda - 1{,}2\,, \tag{2.6}$$

care este suficient de precisă pentru intervalul 20 -120 foni.

Dacă în cazul sunetelor pure curbele de egal nivel de tărie (izofone) reprezintă un raport, relaţia simplă între excitaţie şi senzaţie, acest raport este mult mai complex în cazul surselor muzicale şi zgomotelor, sau când sunt percepute simultan mai multe surse sonore.

Cel mai simplu caz este cel în care sursele produc sunete pure de aceeaşi frecvenţă. Dacă sursele au intensitate egală, atunci nivelul de tărie este:

$$\Lambda_r = \Lambda + 10\lg n\,, \tag{2.7}$$

iar în cazul a două surse de intensităţi diferite nivelul de tărie este:

$$\Lambda_r = \Lambda_1 + 10\lg\left(1 + \frac{1}{10^{\frac{d\Lambda}{10}}}\right), \tag{2.8}$$

unde $d\Lambda=\Lambda_1-\Lambda_2$. Cum în cazul particular al frecvenţei de 1.000 Hz nivelul de tărie în foni este egal cu nivelul de tărie în dB, se poate lua în calcul această ultimă mărime.

Din relaţie se poate observa că, dacă diferenţa nivelurilor de intensitate este mai mare de 10 dB, aportul celei de-a doua surse poate fi neglijat. Dacă însă cele două

Scanned with OKEN Scanner

surse au frecvenţe diferite, nivelul de tărie creşte cu numai 3 foni, putând ajunge în anumite cazuri până la 8-10 foni.

2.2.3. TIMBRUL

Între sunetele de aceeaşi înălţime şi tărie există totuşi o deosebire calitativă, atunci când sunt emise de surse diferite. După caracterul senzaţiei pe care o produc, sunetele se pot împărţi în trei grupe: sunete pure, sunete muzicale şi zgomote.

Sunetul muzical este compus dintr-un sunet fundamental şi un număr diferit de armonici, fiind deci un sunet complex. Caracteristica acestui sunet în funcţie de structura armonică poartă denumirea de timbru.

Structura armonică a unui sunet muzical este exprimată prin numărul şi intensitatea componentelor superioare. Deoarece aceşti parametri care se referă numai la sunetele superioare pot varia la infinit, şi nuanţele aceluiaşi sunet pot fi infinit variate. Experimental s-a constatat că timbrul unui sunet nu depinde de diferenţa de fază a componentelor superioare sau între acestea şi componenta fundamentală.

Timbrul permite distingerea între ele a două sunete, având aceeaşi intensitate şi aceeaşi frecvenţă fundamentală, dar care sunt emise de două surse diferite (instrumente muzicale). Din acest motiv putem face distincţie între o aceeaşi notă produsă de o vioară sau de un flaut.

S-a constatat că suprimarea părţii tranzitorii iniţiale din desfăşurarea în timp a formării şi menţinerii sunetului face ca timbrul mai multor instrumente să devină acelaşi, deşi înainte de suprimare erau diferite pentru fiecare instrument în parte.

Pe lângă tărie, înălţime şi timbru, senzaţia auditivă mai are şi alte însuşiri determinate de regimul tranzitoriu din perioada de formare şi cea de dispariţie a sunetului, de durata emiterii şi de uniformitate. Modularea sunetului (vibrato) este un caz de neuniformitate în emiterea lui, care echivalează cu o modulare a cărei frecvenţă este de 7 Hz, şi bătăile produse de frecvenţele apropiate contribuie la înfrumuseţarea (subiectivă) a sunetului.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 3

STEREOFONIA

O însuşire importantă a omului constă în posibilitatea localizării în spaţiu a unei surse sonore, prin determinarea cu precizie a direcţiei şi aprecierea distanţei de la sursă la ascultător.

Dacă între ascultător şi ansamblul de surse sonore se interpune o instalaţie tehnică de captare-redare a sunetului monofonic, se pierde informaţia de direcţie şi într-o oarecare măsură şi cea de distanţă, toate sursele sonore apărând concentrate în jurul unui punct în spaţiu. Pentru înlăturarea acestor deficienţe s-a creat o tehnică specială de captare-reproducere numită stereofonie, prin care se asigură aceleaşi posibilităţi auditive de localizare, în adâncime şi după direcţie, a surselor sonore ca şi în cazul ascultării directe a surselor reale. Prin acest procedeu tehnologic de captare-redare se obţine refacerea cât mai fidelă a câmpului sonor iniţial cu caracterul distinctiv al sunetelor naturale şi lărgimea spaţiului prin reperaj direcţional şi de adâncime.

Discuţia asupra noţiunii de stereo nu se va limita numai la redarea convenţională prin intermediul a două difuzoare, ci se va lua în consideraţie sensul cuvântului „stereo", care provine din greacă unde înseamnă „solid" sau „tridimensional". Tehnicile sterofonice îmbină atât cercetările teoretice, cât şi observaţiile subiective, aceasta datorită faptului că mecanismul percepţiei auditive direcţionale nu a fost încă complet elucidat. Procedeul stereofonic cel mai larg utilizat este cel cu două difuzoare, care duce însă la o distorsionare a realităţii, deoarece câmpul sonor înconjoară capul din toate părţile.

3.1. LOCALIZAREA AUDITIVĂ A UNEI SURSE SONORE

Studiul sunetului stereofonic nu se poate face fără analiza percepţiei direcţionale în cazul auzului uman, deoarece scopul oricărei tehnici stereofonice de captare şi redare este crearea iluziei de direcţie a sunetului reprodus. Studiul localizării auditive a surselor sonore permite înţelegerea diferitelor tehnici de redare binaurală, stereo, ambisonică şi transaurală.

La un om cu auzul normal, la audiția binaurală, sunetul acționează separat și diferit asupra celor două urechi ale ascultătorului, care transmit semnalul simultan și independent, pe căi diferite, la centrii auditivi din creier unde se formează senzația auditivă. Audiția direcțională se poate împărți în trei planuri: planul lateral (stânga-dreapta), planul median (față-spate) și planul vertical. În cazul redării stereofonice simple cel mai important plan este cel lateral, dar se poate crea și iluzia celorlalte planuri folosind difuzoare orientate. Diferența față-spate devine importantă atunci când se folosesc tehnici de captare redare de tip „surround", iar informația verticală completează reconstrucția câmpului sonor original în cazul redării perifonice prin sistemul Ambisonic.

În aceste condiții, pentru localizarea auditivă a unei surse sonore în planul lateral intervin următorii parametri: diferența de timp Δt, diferența de fază, diferența de intensitate ΔI și diferența spectrală ΔC.

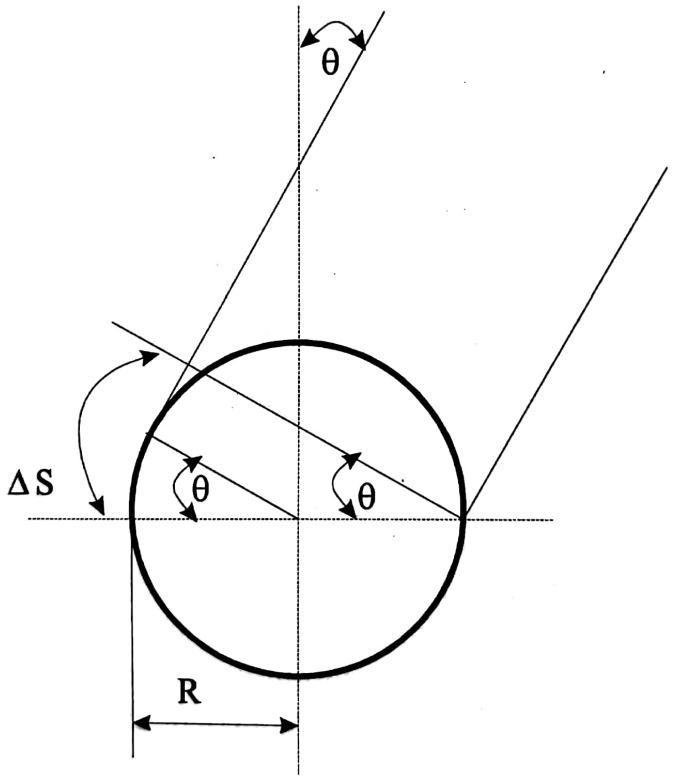


Figura 3.1. Reprezentarea schematică a audiției binaurale.

3.1.1. DIFERENȚA DE TIMP

Diferența de timp a sosirilor la cele două urechi ale aceluiași front de undă este echivalentă cu diferența de fază între frontul undei în dreptul urechii stângi și al urechii drepte. Relația între diferența de timp Δt și diferența de fază $\Delta \Phi$ este:

Scanned with OKEN Scanner

$$\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{\omega} = \frac{\Delta\Phi}{2\pi f}. \qquad (3.1)$$

Diferența de timp se determină din figura 3.1, în care s-a simulat capul uman cu o sferă şi s-a notat unghiul de incidență cu θ; rezultând, pentru diferența de drum dintre cele două urechi ΔS, relația:

$$\Delta S = R(\theta + \sin\theta), \qquad (3.2)$$

unde R este raza capului (pentru simplificare s-a considerat că sursa este foarte depărtată, astfel încât undele sonore incidente la cele două urechi sunt paralele). Din această relație rezultă pentru Δt, expresia:

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{c} = \frac{R}{c}(\theta + \sin\theta) \approx \frac{2R}{c}\sin\theta. \qquad (3.3)$$

În aceste condiții variația de timp Δt în funcție de unghiul de incidență este cea din figura 3.2 [13]. Se observă că diferența de timp este mică în cazul unghiurilor sonore apropiate de axa de simetrie a capului (pentru un unghi apropiat de 0°). Pentru a se verifica practic relația găsită, s-a făcut experiența inversă de provocare a senzației de localizare a imaginii sonore prin decalaje de timp binaurale artificiale. În acest caz s-a obținut curba b din figura 3.2.

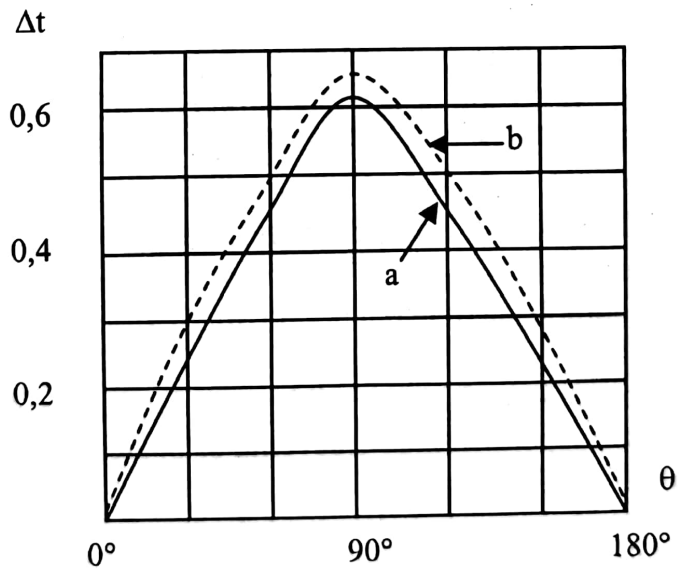


Figura 3.2. Legătura între defazaj şi diferența de timp pentru audiția binaurală.

Ceea ce este de remarcat este că la creşterea decalajului temporal la peste 0,65 ms imaginea sursei se deplasează cu 90°, deplasare ce se păstrează până la un decalaj

temporal de 1,2 ms. Dacă se creşte valoarea decalajului temporal la peste 1,2 ms, dispare efectul de directivitate obţinându-se două semnale diferite în timp.

3.1.2. DIFERENŢA DE FAZĂ

Dacă în ecuaţia 3.1, se trece la relaţia de fază:

$$\Delta\Phi = \omega \Delta t = 2\pi f \Delta t, \qquad (3.4)$$

se observă că diferenţa de fază este cu atât mai mare, cu cât unghiul θ este mai mare, fiind direct proporţională cu Δt. Pentru θ=0, adică în cazul undelor sonore situate în planul median, diferenţa de fază este nulă şi frontul undei ajunge în acelaşi timp la cele două urechi. De asemenea, cu cât distanţa între cele două urechi este mai mare, cu atât diferenţa de fază este mai pronunţată.

Pe măsură ce frecvenţa semnalului creşte, intervalele de timp între sosirile frontului de undă sunt mai mici, mai greu de interpretat şi în consecinţă localizarea direcţiei sursei este mai dificilă. De aceea se consideră că pe baza diferenţei de fază nu se poate localiza cu precizie direcţia sursei, decât pentru acele surse ale căror frecvenţe au lungimea de undă mai mare decât dublul distanţei dintre urechi, adică mai mici de aproximativ 800 Hz [13]:

Trebuie remarcat că în relaţiile de mai sus s-au presupus undele sonore continue. După cum s-a afirmat, pentru o anumită poziţie a sursei de sunet, diferenţa de fază între urechi este dependentă de frecvenţă şi deci nu se poate afirma că unei surse aflată, de exemplu, la 40° de planul median îi corespunde o anumită diferenţă de fază în grade, deoarece valoarea aceasta depinde de frecvenţă. Similar, dacă se menţine frecvenţa constantă şi se deplasează sursa, diferenţa de fază se va modifica cu poziţia (Efectul Doppler). Rezultă că pentru fiecare poziţie şi frecvenţă a sursei de sunet va exista o altă diferenţă de fază şi pentru o localizare exactă, creierul ar trebui să caute într-o tabelă complexă frecvenţă – poziţie – diferenţă de fază, ceea ce este improbabil.

De aceea, în practică se foloseşte diferenţa de timp a sosirilor la cele două urechi, deoarece nu este dependentă de frecvenţă şi poate fi determinată pentru orice poziţie a sursei, indiferent de frecvenţă. Testele subiective efectuate au arătat că, în general, sunetele pure sunt mai greu de localizat decât cele tranzitorii, în special pentru frecvenţe medii, unde diferenţa de fază devine nesemnificativă, iar diferenţa de intensitate nu este încă suficientă.

Până acum am considerat doar o sursă sonoră punctiformă unică, care poate produce diferenţe de timp între sunetele ce ajung la urechi de până la 0,6 ms (întârziere binaurală). În realitate, pentru a înţelege reproducerea stereofonică a sunetului, trebuie să luăm în considerare existenţa mai multor surse sonore. În cazul unui acelaşi sunet emis de două surse diferite, Haas, studiind efectul ecourilor asupra percepţiei direcţionale, a arătat că direcţia percepută a sunetului se îndreaptă spre sursa

Scanned with OKEN Scanner

mai avansată în timp şi că fenomenul poate fi sesizat până la diferenţe de timp de aproximativ 50 ms.

Astfel, pentru două surse distincte având o diferenţă de timp de până la 50 ms creierul sesizează o singură sursă având direcţia sursei care a ajuns prima. Pentru diferenţe mai mari de 50 ms, sunt sesizate sunete distincte, cel de-al doilea apărând ca ecou al primului. În cazul sunetelor scurte şi nerepetitive efectul dispare mult mai repede decât în cazul senetelor complexe, fiind observat până la 5 ms.

Diagrama efectului Haas, figura 3.3, arată că pentru a percepe sursa întârziată cu aceiaşi intensitate ca şi sursa iniţială, sursa întârziată trebuie să aibă un nivel mai mare pentru a compensa efectul de precedenţă al primei surse, efectul fiind cel mai pregnant pentru o diferenţă de aproximativ 15 ms, unde sursa întârziată ar trebui să fie cu 11 dB mai intensă pentru a fi sesizate cu intensitate egală. Se poate astfel observa posibilitatea de a folosi diferenţa de intensitate în locul diferenţei de timp pentru a obţine acelaşi efect direcţional.

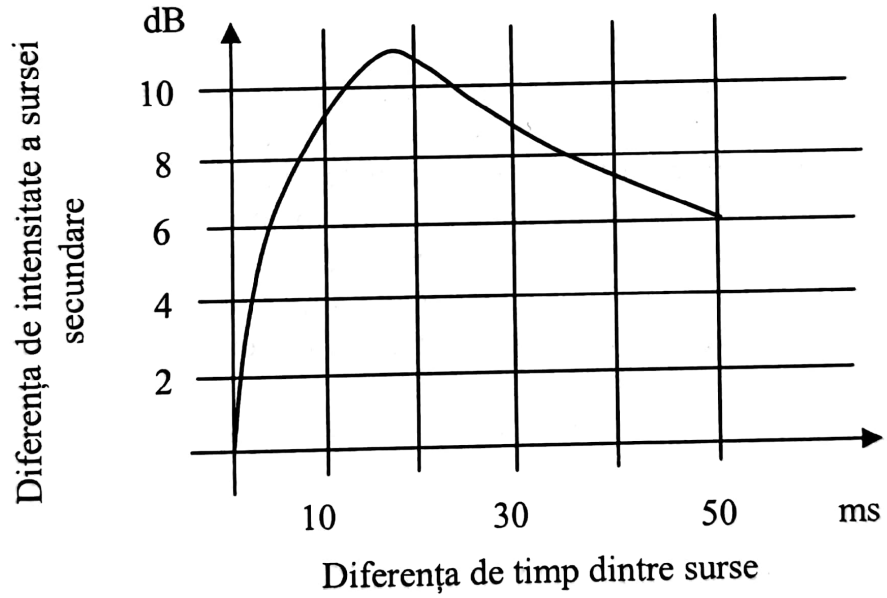


Figura 3.3. Efectul Haas [33].

3.1.3. DIFERENŢA DE INTENSITATE

Considerând că sunetul radiat de o sursă sonoră se propagă în spaţiul liber în toate direcţiile, există două cauze potenţiale pentru ca între urechile ascultătorului să apară o diferenţă de nivel de presiune sonoră. Presupunând că sursa sonoră se află deplasată cu un anumit unghi faţă de axul capului, va apărea o diferenţă de nivel între sunetele percepute de cele două urechi. Aceasta se datorează în primul rând diferenţei

Scanned with OKEN Scanner

de drum pe care sunetul o are de parcurs între cele două urechi şi în al doilea rând efectului de umbrire al capului.

Diferența de intensitate ce rezultă din diferența de distanță este foarte mică în majoritatea cazurilor, deoarece intensitatea sunetului descreşte cu pătratul distanței față de sursă (relația 1.11).

În practică rezultă o atenuare de 6 dB pentru fiecare dublare a distanței față de sursă. În general, distanța dintre urechi este mult mai mică decât distanța până la sursa sonoră. De exemplu, considerând o sursă sonoră situată la o distanță de 4 m față de ascultător şi la 90° față de centru (cazul extrem în care rezultă diferența maximă de drum între urechi) şi presupunând că distanța dintre urechi este de 20 cm, rezultă o diferență de nivel de presiune sonoră de numai 0,4 dB, ceea ce imperceptibil. Numai în cazul în care sursa sonoră se află foarte aproape de cap va rezulta o diferență de intensitate semnificativă.

În domeniul frecvențelor înalte (peste 3.000 Hz) diferența de nivel este cauza definirii direcției, deoarece, prin faptul că lungimea de undă devine comparabilă cu dimensiunile capului, fenomenul de difracție şi de atenuare a undei este mult mai evident. Pentru asemenea sunete, capul ascultătorului se constituie într-un obstacol efectiv. La frecvențe înalte, diferența nivelului de intensitate sonoră la cele două urechi poate fi de ordinul 20-30 dB. Pentru semnale sinusoidale s-a observat că precizia maximă de localizare a sursei de sunet se obține pentru frecvențe mai mari de 5.000 Hz. În cazul unor frecvențe mai mici decât aceasta va exista o abatere în determinarea direcției sursei virtuale, imaginea sonoră situându-se lateral, la un unghi mai mic decât cel real. Devierea față de poziția reală va fi cu atât mai mare, cu cât frecvența va fi mai mică.

Analizele efectuate au arătat că nivelul de intensitate sonoră ΔI are o variație atât în funcție de unghiul de incidență, cât şi în funcție de frecvență.

3.1.4. DIFERENȚA DE COMPONENTE SPECTRALE

După cum este cunoscut, în realitate avem de-a face cu sunete complexe, care se definesc printr-o multitudine de frecvențe şi intensități diferite. În localizarea sursei o contribuție importantă la frecvențe joase o are diferența de timp, pe când la frecvențe înalte aceasta este dată de diferența de intensitate.

Datorită diferențelor de timp şi intensitate a componentelor spectrale ale semnalelor percepute de cele două urechi, rezultă că se poate localiza fără dificultăți orice sursă de semnal complex, însă se produce o modificare a timbrelor sunetelor complexe, care excită cele două urechi, rezultând senzația unui sunet complex cu timbru diferit de cel real.

Diferența între timbrul perceput şi timbrul real este cu atât mai mare, cu cât unghiul de incidență format de direcția sursei cu axa de simetrie a capului este mai mare. Ca urmare, pentru a nu altera sensibil timbrul semnalului, se recomandă ca acest

Scanned with OKEN Scanner

unghi să nu depăşească 60°, ceea ce este suficient pentru cele mai complexe surse de semnal întâlnite în practică.

3.1.5. PERCEPEREA DISTANŢEI

Am văzut că se poate stabili cu o precizie destul de bună direcţia unei surse sonore atunci când unghiul de incidenţă a direcţiei sursei cu axa de simetrie a capului nu depăşeşte 60°.

Perceperea şi aprecierea distanţei la care se găseşte sursa este o operaţie mai puţin precisă, fenomenul fiind mai puţin cunoscut. Cercetările au arătat că în principiu ascultătorul stabileşte distanţa pe baza comparării nivelului de intensitate sonoră între sunetul direct şi sunetul reflectat. De aici rezultă că precizia este mai slabă în aer liber şi mai bună (crescând cu proprietatea de reverberaţie a pereţilor) în spaţii închise.

Aprecierea corectă a distanţei sursei faţă de ascultător are importanţă pentru aprecierea profunzimii imaginii câmpului sonor creat, atunci când necesităţile practice o reclamă.

În figura 3.4 este prezentată contribuţia diferenţei de timp (Δt) şi a diferenţei de intensitate (ΔI) în localizarea sursei sonore, în funcţie de frecvenţă [13], [23].

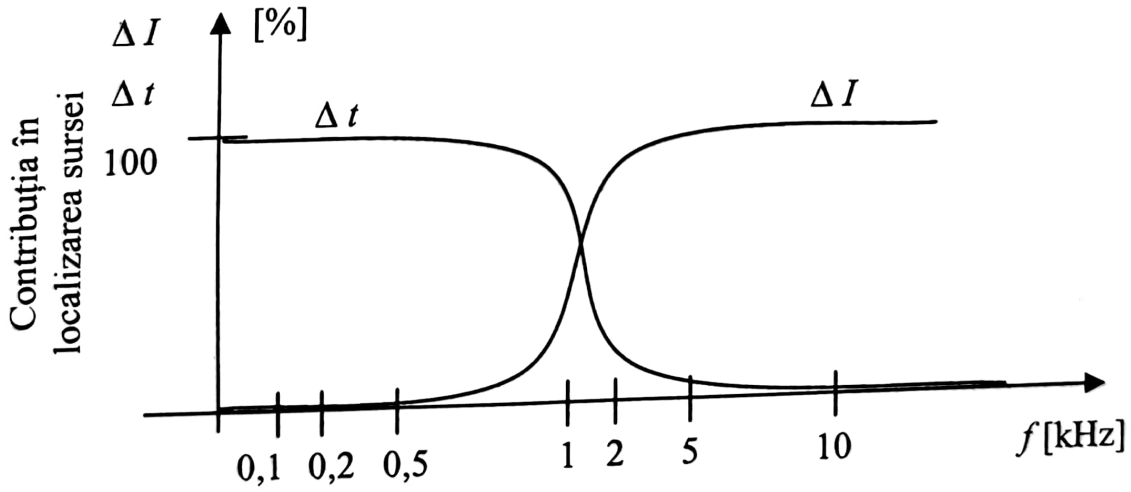


Figura 3.4. Contribuţia diferenţelor de timp şi intensitate în localizarea imaginii sonore.

3.2. PRINCIPIILE STEREOFONIEI

În situaţiile frecvent întâlnite în practică, atunci când ascultătorul trebuie să audieze în mod indirect o scenă sonoră, după ce a fost captată, transmisă (eventual înregistrată) şi reprodusă în alt loc din spaţiu, se impune găsirea soluţiilor cele mai eficiente pentru a nu se pierde informaţia de spaţiu. Teoretic ar fi necesar un număr cât

Scanned with OKEN Scanner

mai mare de microfoane, care să fie amplasate în spațiul definit de scena sonoră, în concordanță cu poziția și numărul surselor de semnal ce compun scena.

Semnalul captat de aceste microfoane trebuie să fie transmis (înregistrat) până la locul de ascultare pe canale separate, canale care să se conecteze fiecare la un agregat de reproducere, amplasat în spațiul scenei de ascultare în aceleași poziții ca și cele ale surselor captate. Cu alte cuvinte, printr-un număr cât mai mare de canale de captare-reproducere s-ar capta cât mai fidel scena sonoră de la locul producerii ei și s-ar transmite și reda cât mai aproape de realitate în alt loc de ascultare. Practic este suficient un număr de canale de captare – transmisie – reproducere egal cu numărul surselor reale ce compun sursa.

În condițiile actuale este posibilă o soluție cu mai multe canale dar nu și economică, prin urmare ea nu a fost aplicată în practică.

Având în vedere că principalele informații de spațiu și relief omul le percepe datorită faptului că dispune de două organe de auz (audiție binaurală), s-a ajuns la concluzia că folosirea a două canale de captare – transmitere – reproducere este suficientă pentru a reda informația de spațiu și relief sonor, cu o aproximație destul de bună.

3.2.1. SISTEMUL STEREOFONIC CU DOUĂ CANALE

a. PROCEDEELE DE CAPTARE STEREOFONICĂ A SUNETULUI

Cel mai simplu sistem de captare-reproducere stereofonică se compune din două canale de transmisie separate, în care semnalele captate prin utilizarea unui cap artificial sunt trimise direct la urechile ascultătorului (figura 3.5).

Datorită faptului că auzul uman prezintă din punct de vedere fiziologic un fenomen de latență și inhibiție (variabil cu intensitatea excitației), care se traduce printr-un efect de acoperire, se pot înlocui cele două căști cu două difuzoare care se amplasează la o anumită distanță unul față de altul.

Variantele de captare și redare stereofonică a sunetului sunt clasificate după cele două procedee de bază:

- procedeul bazat pe diferența de timp (de fază), cu variantele:
  - AB apropiat,
  - AB îndepărtat;
- procedeul bazat pe intensitate, cu variantele:
  - simetric XY (o variantă particularizată a procedeului simetric este procedeul XY stereosonic),
  - asimetric MS.

Scanned with OKEN Scanner

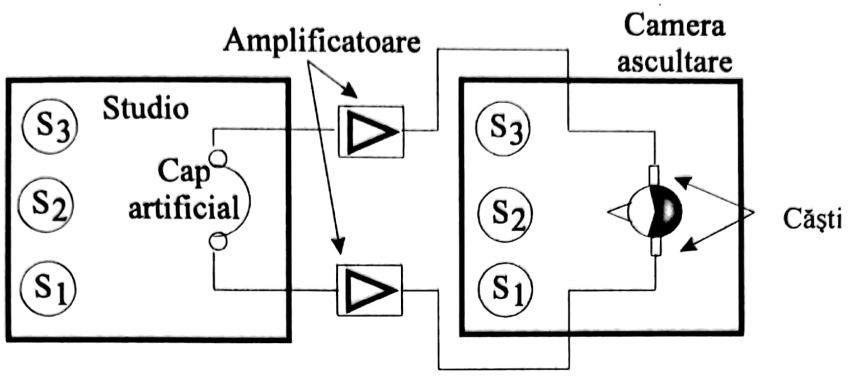


Figura 3.5. Sistemul stereofonic cu transmisie directă.

Metoda de captare este mult influenţată, în afara de posibilităţile tehnice şi de cerinţele impuse de compatibilitate şi bună audibilitate. Compatibilitatea este o restricţie impusă de existenţa aparatelor monofonice, care a creat destule probleme tehnice, având în vedere necesitatea transmiterii pe un canal a informaţiei obişnuite şi pe celalalt canal a informaţiei stereofonice.

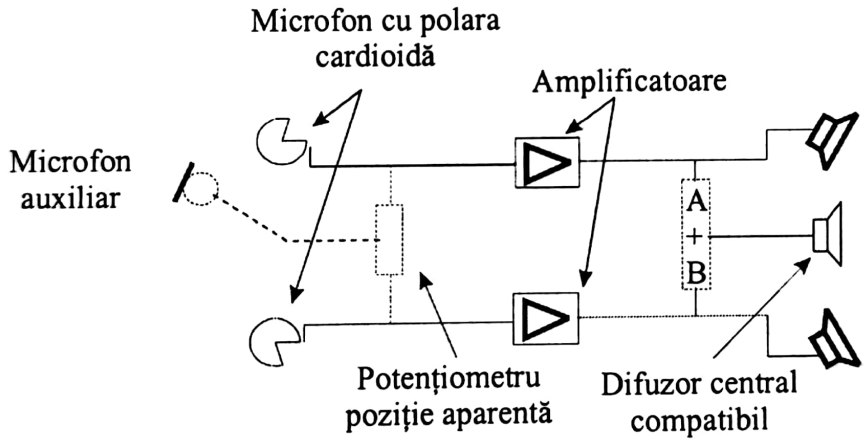


Figura 3.6. Principiul de captare AB îndepărtat.

În cazul procedeului bazat pe diferenţa de timp, AB îndepărtat (figura 3.6), chiar dacă efectul stereofonic este satisfăcător la ascultare (deşi sursele apar ca o imagine într-o oglindă convexă, adică foarte distanţate de centru şi concentrate la extremităţi), extragerea unei informaţii monofonice este imposibilă. Luând această informaţie numai de la unul din cele două microfoane laterale, se favorizează sursele învecinate cu microfonul, iar dacă se ia informaţia de la ambele microfoane însumate se deformează centrul. Prin urmare, captarea cu microfoane laterale nu numai că nu asigură contopirea într-o senzaţie auditivă integrală, necesară unei bune audiţii stereofonice, dar nu permite nici compatibilitatea.

S-a căutat înlăturarea acestor inconveniente prin aşezarea celor două microfoane în centru şi foarte apropiate unul de celalalt. Această situaţie s-a generalizat şi

Scanned with OKEN Scanner

microfoanele de captare stereofonică se aşază pe o axă de simetrie a câmpului sonor fie într-o poziţie corespunzătoare urechilor unui ascultător care priveşte din faţă, fie suprapuse pe o axă verticală situată în faţa câmpului sonor.

Prima formulă de amplasament, a microfoanelor decalate, dă posibilitatea aplicării unei metode de captare bazată pe diferenţa de timp (AB apropiat) în care pentru realizarea efectului stereofonic contează numai timpul de tranzit al undei sonore de la un microfon la altul (diferenţa de intensitate sonoră datorată atenuării suferite în cursul propagării, fiind foarte mică, se neglijează). În acest caz semnalele produse de difuzoare ajung decalate în timp dar aproximativ egale (figura 3.7).

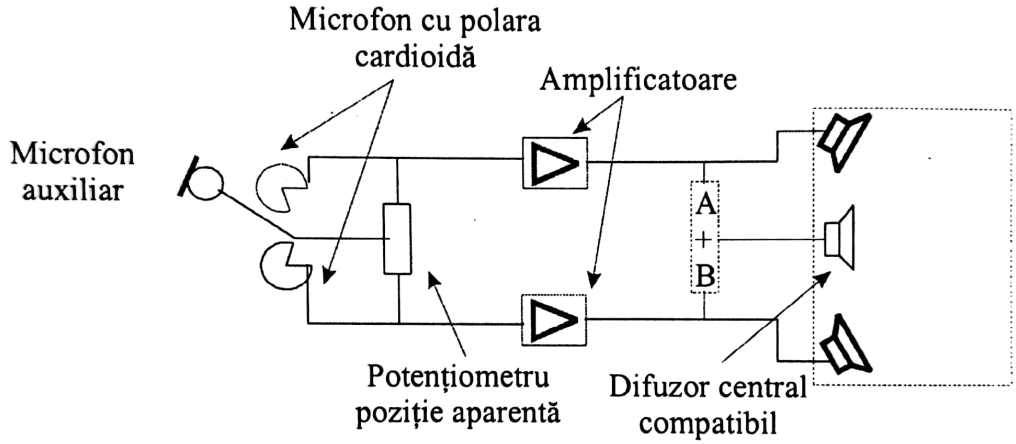


Figura 3.7. Principiul de captare AB apropiat.

Cea de-a două formulă de amplasament, a microfoanelor suprapuse, dă un efect stereofonic bazat pe diferenţa de intensitate obţinută cu ajutorul caracteristicilor de directivitate ale microfoanelor suprapuse, care în mod practic pot fi considerate ca fiind situate în acelaşi punct, deci nu decalate, ci în fază (X, Y; figura 3.8). În acest caz, poziţia sursei sonore determină apariţia la cele două difuzoare a unor semnale care sunt diferite în intensitate dar sinfazice.

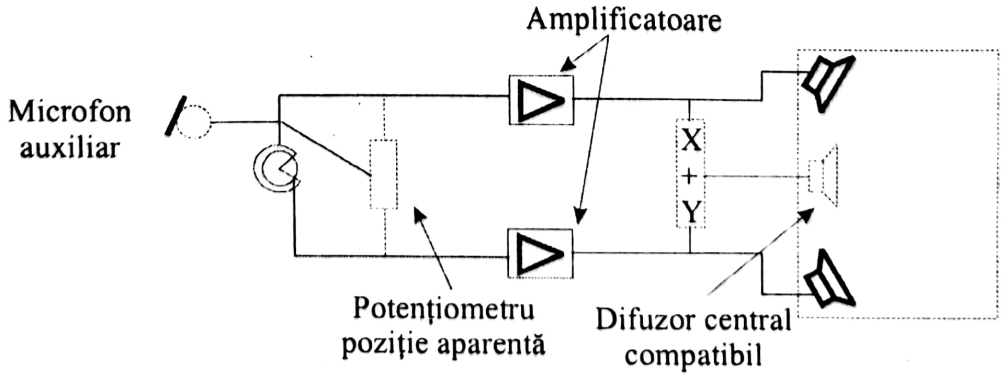


Figura 3.8. Principiul de captare XY.

În cazul aranjamentului cu microfoane decalate se utilizează de obicei două microfoane identice, depărtate între ele cu aproximativ 20 cm, ceea ce justifică ipoteza efectului stereofonic numai prin diferența de moment de sosire a semnalului la ascultător.

Dezavantajul acestui procedeu este acela că senzația de stereofonie este foarte greu de menținut în afara regiunii apropiate de axa de simetrie a dispozitivului de ascultare, înfățișarea sonoră a formației, prin deplasarea față de axa de simetrie, concentrându-se în lateral determinând auditoriul să-şi oprească atenția asupra unui singur difuzor.

Pe lângă aceasta, compatibilitatea nu se poate realiza prin însumarea celor două canale A+B, deoarece în acest mod pot apare interferențe în regiunea frecvențelor înalte, ceea ce conduce la înlocuirea acesteia cu unul din semnale A sau B.

Micşorarea dificultăților în cazul microfoanelor decalate se realizează prin combinarea calităților acestei formule cu unele din caracteristicile formulei cu microfoane suprapuse. Astfel, pentru obținerea compatibilității prin însumarea semnalelor A şi B sunt folosite, în loc de microfoane omnidirecționale, microfoane cardioide, aşezate divergent față de axa de simetrie a scenei captate, având față de axă un unghi cuprins între 45 şi 90°.

Această măsură produce diferența de intensitate între cele două semnale A şi B, necesară însumării fără interferențe. Pentru umplerea „golului" central sunt folosite microfoane de ajutor a căror contribuție este suprapusă în fază pe cele două canale A şi B, cu intensitatea dorită, pentru a plasa sursele captate exact în centru ori mai aproape de difuzorul din stânga sau din dreapta. Astfel de microfoane simple, al căror semnal de ieşire poate fi împărțit arbitrar pe cele două canale stereofonice, sunt foarte utile pentru schimbarea aparentă a poziției reale a unei surse dintr-o scenă sonoră. Soluția permite deplasarea unei surse aparente din stânga în dreapta scenei, sau invers, numai prin manevrarea unui potențiometru. Umplerea golului se poate face nu numai la captare, ci şi la redare, cu ajutorul unui difuzor central aşezat la mijlocul distanței dintre cele două difuzoare aparținând canalului A şi B, alimentat cu semnalul A+B la un nivel de intensitate mult inferior celorlalte difuzoare.

În formula microfoanelor suprapuse se utilizează de obicei două microfoane mici, identice şi directive. Suprapunerea dă identitatea de fază, iar directivitatea, diferența de intensitate cu ajutorul căreia se creează efectul stereofonic. Diferitele variante de alegere, de combinare şi de orientare a celor două caracteristici de directivitate uzuale, cardioida şi opt, constituie specificul procedeelor de captare cunoscute sub denumirea de XY, stereosonic şi MS.

În procedeul XY cele două microfoane suprapuse, cu caracteristica de directivitate sub formă de cardioida, sunt orientate astfel încât axele cardioidelor să facă un unghi de 90° între ele şi câte un unghi de 45° cu axă de vizare, care coincide cu axa scenei captate. Prin această combinație de caracteristici şi orientare, scena este

Scanned with OKEN Scanner

cuprinsă între axele principale ale cardioidelor şi în consecinţă sunetul direct este favorizat faţă de sunetul indirect, care venind dinspre sală solicită numai partea inactivă a caracteristicii microfoanelor.

Procedeul dă o compatibilitate perfectă pentru semnalul sumă (X+Y), dar din cauză că forma cardioidelor şi orientarea lor asupra scenei nu prezintă nici o direcţie pe care semnalul X sau Y ar putea fi nul, variaţiile unghiului real de amplasament la captare sunt mult mai mari decât variaţiile unghiului aparent la ascultare. Acest lucru face ca la audiţie sursele sonore componente scenei la redare să pară mai înghesuite decât sunt în realitate.

În procedeul stereosonic (denumirea comercială) se suprapun două microfoane a căror caracteristică este bidirecţională în formă de opt (figura 3.9). Ele sunt orientate astfel încât axa care trece prin vârful unui opt să facă 45° cu axa de simetrie a scenei şi 90° cu axa celuilalt opt (al celui de-al doilea microfon). Semnalele captate de cele două microfoane sunt **A** şi **B**.

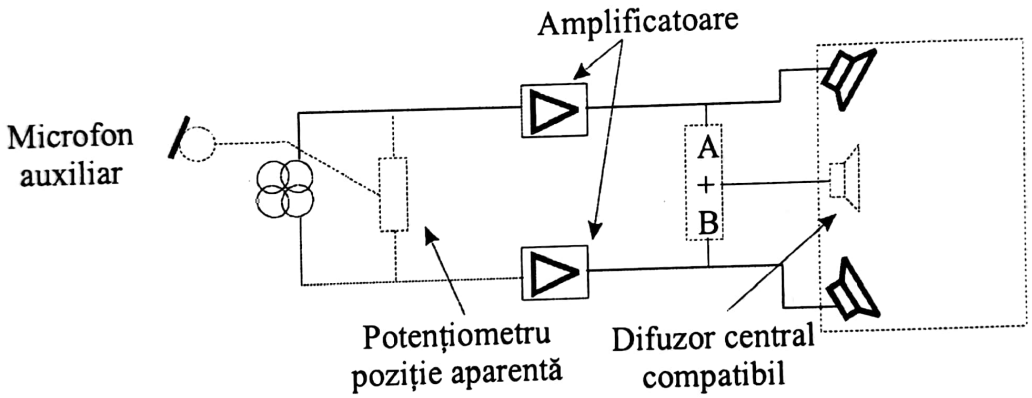


Figura 3.9. Procedeul de captare XY stereosonic.

Acest procedeu asigură compatibilitatea pentru semnalul **A+B** (ca şi procedeul XY), dar prin faptul că foloseşte caracteristici care fac ca semnalele a şi b să varieze cu poziţia sursei, de la zero la maxim, este superior procedeului XY, în ceea ce priveşte coincidenţa unghiului de amplasament de la captare cu unghiul de amplasament de la ascultare. Din această cauză, efectul stereofonic este mult mai reuşit, iar repartiţia auditivă a surselor în cadrul scenei mai apropiată de realitate. Dezavantajul acestui procedeu este introducerea unui sunet reverberat de sală şi captat de microfoane datorită lobilor posteriori ai polarelor sub formă de opt.

Procedeul MS (figura 3.10) foloseşte microfoane cu polare diferite. Unul are caracteristică de cardioidă cu axa de simetrie cuprinsă în planul de simetrie al spaţiului sonor şi cu vârful înspre acesta. Celalalt are o caracteristică sub formă de opt, cu lobii îndreptaţi spre stânga şi spre dreapta scenei. Cele două microfoane, ale căror caracteristici de directivitate au axele de simetrie perpendiculare, nu dau un semnal compatibil prin însumare. Semnalul compatibil în procedeul MS este semnalul M (mijloc) captat de microfonul cu caracteristica cardioidă şi este echivalent cu semnalul

Scanned with OKEN Scanner

X+Y al procedeului XY, celalalt semnal S (lateral), captat de microfonul cu caracteristica opt, fiind rezervat exclusiv informației stereofonice şi este echivalent cu semnalul X-Y al procedeului XY.

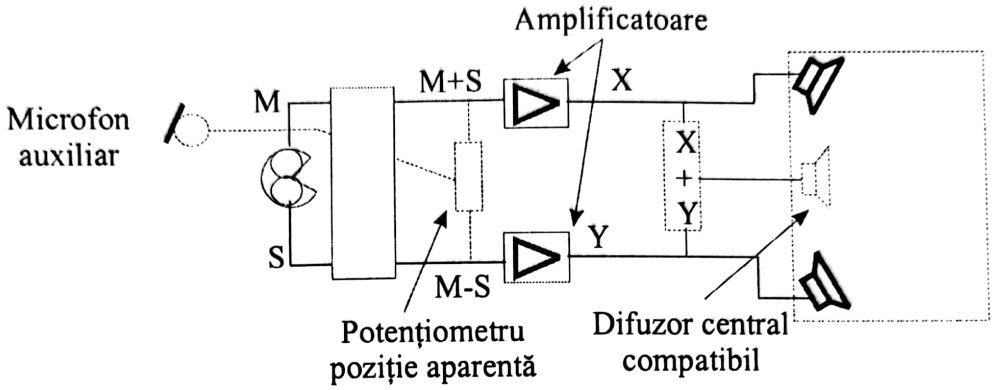


Figura. 3.10 Procedeul de captare MS.

Datorită echivalenței, se pot obține semnalele echivalente procedeului XY.

$$X = \frac{M+S}{2},\ Y = \frac{M-S}{2}. \qquad (3.5)$$

Din cauza compunerii polarei omnidirecționale cu cea bidirecțională pentru obținerea cardioidei unuia dintre microfoanele suprapuse intervin relații de fază şi presiune la frecvențe mari care nu respectă întocmai prevederile teoretice. Aceasta face ca simetria procedeului MS să nu fie atât de bună ca a celorlalte procedee XY şi stereosonic, iar rezultatul captării să aibă variații în funcție de frecvență. Pe lângă acest lucru, calitatea captării este micşorată de înghesuiala aparentă a surselor în centru la fel ca şi la procedeul XY.

Unul din remediile acestui dezavantaj (înghesuirea surselor la redare) este mărirea semnalului S în raport cu M, metodă ce poate fi aplicată şi în cazul metodei XY, deoarece echivalentul acestui semnal este X-Y. Acest semnal X-Y va realiza dispersarea imaginii sonore de la centru către periferie. Trebuie observat însă că amestecul de forma X+Y are un efect invers, de concentrare, ca şi semnalul M. Se poate menționa că folosirea exagerată a amestecului X-Y poate duce, pentru sursele laterale, la apariția pe cele două canale a unor semnale în opoziție de fază, care se poate traduce prin apariția unor sunete aspre deranjante pentru ureche.

b. CALCULUL AMPLASAMENTULUI APARENT ÎN CAZUL SISTEMULUI DE CAPTARE STEREOFONIC

O exprimare cantitativă matematică a relației dintre unghiul real de amplasament al sursei şi unghiul aparent auditiv este destul de greu de găsit. Există însă unele încercări care stabilesc funcționarea sistemului stereofonic bicanal cu

microfoane suprapuse şi caracteristici de directivitate identice. Acest calcul se bazează pe schema din figura 3.11.

În această schemă, în S este aşezată sursa sonoră reală, care face un unghi θ cu axa de simetrie a scenei captate. În M_c se află microfoanele suprapuse care captează sunetul în locul capului unui ascultător aşezat în faţa scenei. De la cele două microfoane pleacă cele două canale A şi B, care au fiecare câte un amplificator şi un difuzor D_A şi D_B. Caracteristicile fiecărui canal, de la microfon până la difuzor, sunt alese astfel încât să nu existe practic între ele diferenţe de intensitate (indiferent de frecvenţă), diferenţe de fază sau de distorsiuni datorate transmisiei.

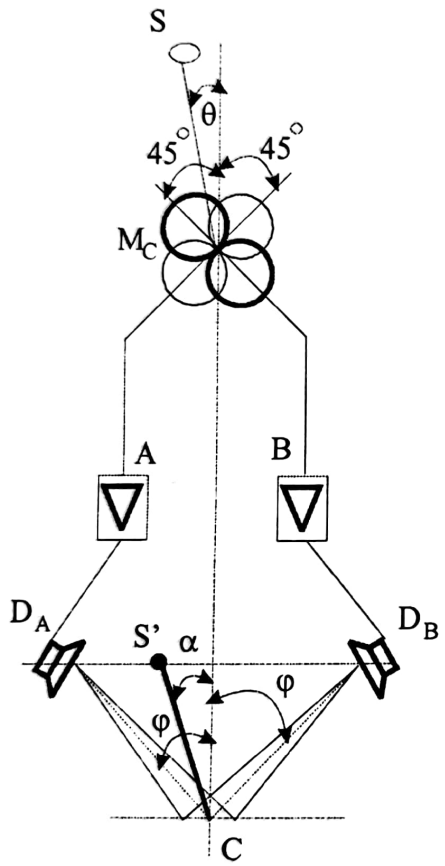


Figura 3.11. Calculul amplasamentului aparent al sursei la redare stereofonică.

În C se află capul ascultătorului transmisiei stereofonice, situat pe normală la dreapta, care uneşte cele două difuzoare, dusă pe mijlocul distanţei între ele. Ascultătorul din punctul C va percepe audiţia unei surse sonore aparente, localizată în punctul S', pe o direcţie care face în punctul C unghiul α cu normala pe care se găseşte ascultătorul. Se poate demonstra că [36]:

$$\sin\alpha = \operatorname{tg}\theta \times \sin\varphi, \qquad (3.6)$$

care mai poartă şi denumirea de *legea stereofonică a sinusurilor*.

Din reprezentarea funcţiei sinusurilor având ca parametru unghiul α, se constată că în cazul particular în care ascultătorul este aşezat în vârful triunghiului echilateral având ca bază distanţa dintre cele două difuzoare, unghiul de direcţie aparent este practic egal cu cel real. Având în vedere că în sistemul stereofonic cu două canale intervin mai mulţi parametri care definesc direcţia deplasării imaginii aparente a sursei sonore, s-a căutat să se stabilească în mod experimental relaţiile care există între cele trei unghiuri definite şi deplasările care se produc [13].

Până acum am presupus că ascultătorul se află situat mai aproape de un difuzor, ceea ce conduce la următoarele concluzii:

- intensitatea sunetului primită de la cele două difuzoare este diferită,
- pentru un semnal al sursei centrale sunetul emis de difuzorul apropiat va ajunge mai repede la urechea ascultătorului.

Scanned with OKEN Scanner

Cu alte cuvinte, deplasarea ascultătorului față de axa de simetrie introduce diferențe de intensitate şi decalaje temporale suplimentare (independente de cele introduse prin captarea stereofonică), care vor denatura efectul localizării. În acest caz, deducerea relațiilor dintre unghiul real şi cel aparent este mult mai dificilă [4].

Şi în acest caz, s-au stabilit experimental deplasările imaginii sursei în funcție de diverşi parametri:

- deplasarea în funcție de diferența de intensitate sonoră între difuzoare,
- deplasarea în funcție de poziția ascultătorului, datorată diferenței de intensitate,
- deplasarea în funcție de decalajul temporal,
- deplasarea în funcție de poziția ascultătorului datorată decalajului temporal.

3.2.2. COMPATIBILITATEA SISTEMELOR STEREOFONICE

Compatibilitatea constă în transpunerea în fapt a condiției ca orice înregistrare stereofonică să poată fi reprodusă printr-o instalație monofonică şi invers, orice înregistrare monofonică să se poată reproduce prin intermediul unui sistem stereofonic.

În general, reproducerea unei înregistrări monofonice prin intermediul unui sistem stereofonic nu prezintă dificultăți, deoarece, în acest caz, pentru reproducerea sau transmisia semnalelor monofonice, se vor putea utiliza două canale electroacustice în loc de unul, fapt ce antrenează o ameliorare a calității reproducerii. Situația inversă, în care se impune reproducerea unei înregistrări stereofonice printr-o instalație monofonică, este mult mai dificil de realizat.

În practică se constată că diferitele procedee de obținere a semnalului stereofonic nu conduc la o aceeaşi calitate a audiției stereofonice şi monofonice. De aceea s-au definit:

- Compatibilitatea teoretică - condiția pe care trebuie să o îndeplinească o captare stereofonică pentru a nu introduce distorsiuni de fază în audiția monofonică. Din acest punct de vedere, rezultă că numai procedeele de intensitate sunt compatibile (XY şi MS).
- Compatibilitatea practică (acceptabilă) - audierea monofonică a unei captări stereofonice fără introducerea distorsiunilor de fază sesizabile de ureche şi fără denaturări apreciabile ale perspectivei sonore. Ceea ce înseamnă că aceasta acceptă atât un compromis de ordin tehnic, cât şi unul de ordin estetic.

Din punct de vedere tehnic în acest caz se impune condiția ca semnalele laterale să nu producă distorsiuni mai mari decât valoarea sesizabilă de ureche, admițând în aceste condiții, contrar teoriei, ca fiind compatibil chiar şi procedeul AB.

Din punct de vedere estetic, în afara controlului auditiv al eventualelor distorsiuni, operatorul de sunet va căuta să obțină cel mai bun compromis pentru diferențe minime de calitate între audițiile monofonice şi stereofonice ale captării. În

Scanned with OKEN Scanner

acest scop trebuie realizate corecţiile necesare, care depind în mod evident de pregătirea şi experienţa profesională şi artistică a operatorului.

3.3. SUNETUL STEREOFONIC MULTICANAL

Aşa cum am precizat, reproducerea sunetului cât mai aproape de realitate în alt loc decât cel în care se află sursa de sunet reală necesită un număr cât mai mare de microfoane, căi de transmisie şi difuzoare. Practic ar fi necesar un număr de căi de captare – reproducere egal cu numărul surselor de sunet ce constituie scena sonoră.

Din motive economice pentru început s-a adoptat sistemul stereofonic cu două canale electroacustice, care s-a dezvoltat suficient de mult, devenind în prezent o necesitate firească. Pentru a îmbunătăţi reproducerea unei scene sonore faţă de stereofonia pe două canale s-au dezvoltat sistemele multicanal.

Pentru început sistemele multicanal au fost introduse în teatru şi cinematografie (coloana sonoră a unor filme).

3.3.1. CUADROFONIA

S-a constatat experimental că la audiţia directă sunt două efecte majore care contribuie la realizarea ambianţei:

- efectul de perspectivă (de spaţiu),
- efectul de atmosferă (reverberaţia).

Aceste efecte dau ascultătorului posibilitatea să aprecieze diferenţele care există între sursele sonore şi să atribuie o localizare proprie pentru fiecare. În acelaşi timp ascultătorul aude toate sunetele reflectate, făcând o apreciere a atmosferei, care constituie de fapt reverberaţia de ansamblu a sălii, ceea ce contribuie la crearea condiţiilor necesare ca ascultătorul să se simtă ca făcând parte din ansamblul scenei sonore la care asistă.

Pentru a îmbunătăţi reproducerea scenei sonore faţă de transmisia pe două canale, s-a experimentat soluţia de captare şi reproducere a sunetului cu patru canale independente, denumită pe scurt cuadrofonie. Elementele ce compun un astfel de sistem sunt prezentate în figura 3.12. Atunci când se respectă riguros corespondenţa de amplasament a difuzoarelor şi microfoanelor şi când se asigură amplificarea şi faza corectă a fiecărei căi de amplificare, se obţine o reproducere foarte fidelă creând ascultătorului o impresie auditivă superioară celei obţinute prin sistemul de stereofonie cu două canale.

Acest sistem poate fi folosit pentru producerea unor efecte acustice spaţiale prin diferite aranjamente geometrice ale microfoanelor, difuzoarelor, precum şi prin modificări ale amplificărilor şi fazelor celor patru căi de amplificare. Astfel o sursă

Scanned with OKEN Scanner

sonoră centrală, S (figura 3.13), poate fi redată ca o sursă care se deplasează în spațiu de jur împrejurul ascultătorului, prin comutări şi întreruperi potrivite ale alimentării celor patru difuzoare. Un alt efect este acela de a face ca imaginea unei surse sonore fixe să se deplaseze din planul central către ascultător, reglând în mod continuu nivelul de intensitate a celor două difuzoare de la zero la nivel maxim în funcție de viteza cu care dorim să se efectueze această deplasare. Întrucât există mai multe surse sonore, iar rezultatul combinațiilor ce se pot realiza este foarte mare, este posibilă obținerea de efecte artistice variate.

În concluzie, sistemul cuadrofonic permite o multitudine de posibilități de îmbunătățire a audiției, iar alegerea şi folosirea acestora depinde în exclusivitate de măiestria şi experiența celor care îl folosesc.

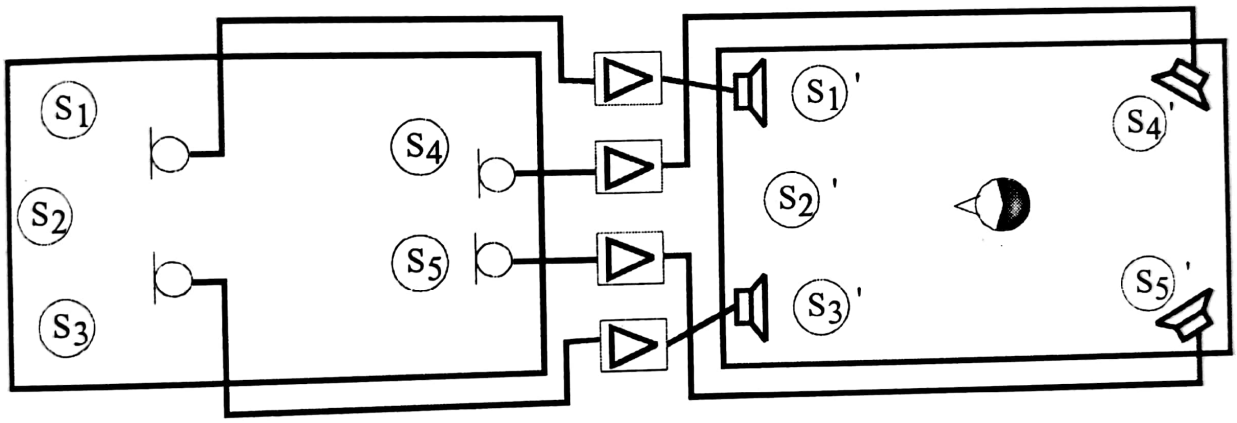


Figura 3.12. Sistem de transmisie pe patru canale.

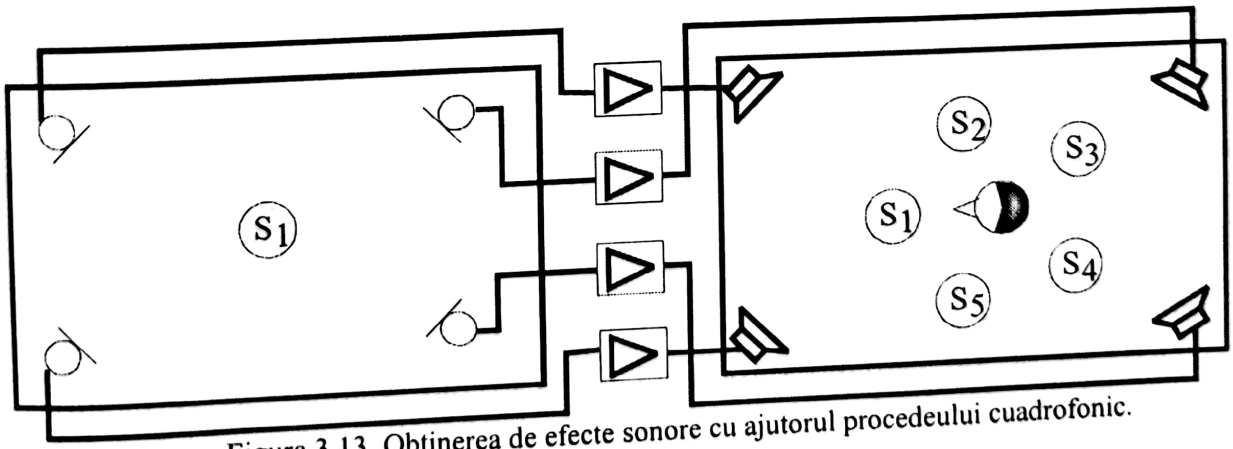


Figura 3.13. Obținerea de efecte sonore cu ajutorul procedeului cuadrofonic.

Scanned with OKEN Scanner

3.3.2. SISTEMUL AMBISONIC

a. SISTEMUL AMBISONIC

Sistemul cuadrofonic care necesită patru microfoane, patru canale de transmisie şi patru difuzoare nu putea fi adaptat la o largă varietate de situaţii de preluare a sunetului şi nu putea fi adaptat la orice condiţii de ascultare. Cuadrofonia lucrează, în general, prin crearea unei imagini stereo fantomă între cele două perechi de microfoane şi sunetul stereo convenţional nu poate fi reprodus în condiţii bune decât dacă ascultătorul se află exact în centrul tetraedrului format de cele patru difuzoare şi dacă unghiul făcut de difuzoare este mai mare de 60°.

Spre deosebire de sistemul cuadrofonic, sistemul *Ambisonic* se bazează pe o metodă de captare tridimensională a informaţiei scenei sonore şi reproducerea ei printr-o metodă de dispunere a difuzoarelor care să producă impresia de imagine sonoră tridimensională. Ceea ce se realizează în practică este captarea a cât mai multă informaţie prin aranjarea cât mai avantajoasă a microfoanelor şi folosirea aceasteia pentru a crea urechii senzaţia de câmp sonor "complet".

Cei care au pus pentru prima dată bazele reproducerii direcţionale a sunetului au fost Alan Blumlein în Anglia şi compania RCA în SUA, la începutul anilor '30. Tehnicile dezvoltate de ei presupuneau sisteme ce foloseau un număr mic de canale de informaţie ce erau reproduse printr-o pereche de difuzoare [13].

Tehnica dezvoltată de către Alan Blumlein consta dintr-o pereche de microfoane cu caracteristică în formă de 8, montate cât se poate de aproape unul de celălalt, cu lobul frontal al unui microfon făcând un unghi de 45° cu partea stânga a liniei faţă – spate şi cu lobul frontal al celuilalt făcând un unghi de 45° cu partea dreaptă a aceleiaşi linii (sistemul stereosonic – figura 3.9). Deşi acest lucru oferea o imagine stereo foarte bună el avea totuşi o problemă. Datorită caracteristicii în formă de 8, sunetele ce provin din spatele microfonului sunt de asemenea preluate de acesta şi în momentul în care acestea sunt reproduse printr-o pereche de difuzoare ele sunt direcţionate către centrul scenei sonore ceea ce conduce la deformarea imaginii sonore rezultate.

Simplitatea şi acurateţea soluţiei a fost agreată de inginerii de sunet care au rezolvat problema captării sunetelor perturbatoare prin utilizarea de microfoane cu caracteristică de tip cardioid (procedeul XY cardioid, figura 3.8) şi modificarea unghiului de amplasare. Acest lucru a dus la rezultate mult mai acceptabile în ceea ce priveşte captarea sunetelor perturbatoare (din spate) chiar dacă prin aceasta scădea acurateţea scenei sonore.

Sistemul *Ambisonic* a folosit ca punct de plecare soluţia propusă de Blumlein. Astfel s-a adăugat un microfon omnidirecţional la perechea de microfoane cu caracteristică în formă de 8, ceea ce a condus la posibilitatea capturării intregii informaţii disponibile. Pentru aceasta este necesar ca cele trei microfoane să fie

Scanned with OKEN Scanner

situate, din punct de vedere acustic în acelaşi punct din câmpul sonor. Soluția devine şi mai complicată atunci când se mai adaugă încă un microfon cu caracteristică în formă de 8, orientat în direcția sus – jos pentru a capta informația de înălțime. Această problemă a fost rezolvată prin realizarea microfonului Ambisonics (figura 3.14).

Practic este un microfon având 4 diafragme aranjate în forma unui tetraedru, capabil să preia sunetul ca şi cum ar fi captat de pe suprafața unei sfere şi să-l reproducă ca şi cum ar fi în centrul ei. Cele patru diafragme reprezintă, aşa cum am mai spus, 4 microfoane având caracteristicile:

- 1 omnidirecțional,
- 3 bidirecționale (opt) – care reprezintă informația de sunet stânga-dreapta, față-spate şi sus-jos.

Microfonul astfel compus este ideal nu numai pentru sistemul Surround, dar şi pentru cel corespunzător sistemului stereo cu microfoane de coincidență. Directivitatea acestui microfon poate fi controlată pentru orice direcție, iar apropierea diafragmelor creează posibilitatea obținerii oricărui unghi între 0 şi 180°, având orice caracteristică polară cuprinsă între cea omnidirecțională şi opt (vezi capitolul 4).

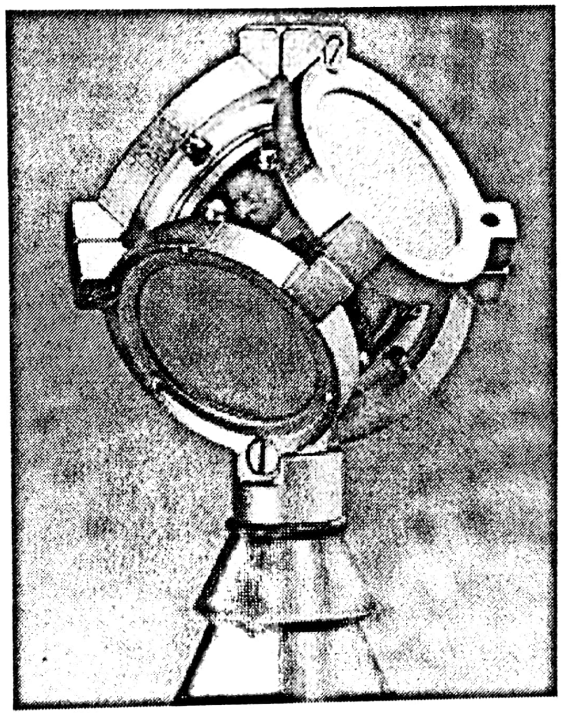


Figura 3.14. Construcția microfonului Ambisonics.

Întrebarea care se pune este, prin ce diferă acest sistem de sistemul cuadrofonic? Cuadrofonia se bazează pe o teorie foarte simplă: creşterea numărului de canale utilizate pentru transmisia şi redarea sunetului se realizează prin păstrarea raportului obținut la trecerea de la sistemul mono la cel sterofonic. Din păcate acest lucru nu este

Scanned with OKEN Scanner

adevărat deoarece informaţia suplimentară transmisă este parţial redundantă şi creează instabilitatea imaginii sonore percepute la extremităţile scenei sonore.

Sistemul de sunet "surround" *Ambisonic* are două soluţii tehnice de rezolvare a problemelor legate de codarea direcţiei şi amplitudinii sunetului şi reproducerea lui. Scopul final îl reprezintă crearea impresiei ascultătorului că aude şi localizează corect sunetele redate

Prima dintre soluţii se referă la redarea orizontală a scenei sonore (sisteme stereo îmbunătpţite) iar cea de-a doua se referă la o redarea spaţială (refacerea scenei sonore într-o sferă imaginară).

Pentru implementare s-au definit un număr de formate de semnal, şi anume:

- formatul **A** pentru preluarea sunetului cu ajutorul microfonului
- formatul **B** pentru procesare şi echipamente de studio
- formatul **C** pentru transmisie
- formatul **D** pentru decodare şi reproducere

Sistemele ce folosesc formatul **B** de semnal pentru transmiterea informaţiei înregistrate au nevoie de trei sau patru canale pentru codarea completă a sunetului la nivelul de performanţă ce se poate atinge prin utilizarea de microfoane de rangul 1 (caracteristică cardioidă, în formă de 8 etc). La redare sunt necesare cel puţin patru difuzoare, în funcţie de dimensiunea sălii şi de tipul de captare (orizontală sau spaţială). Un lucru important de notat este că cele două părţi ale sistemului, şi anume codarea şi decodarea sunt complet separate. Astfel nu este necesară luarea în calcul a detaliilor de la refacerea semnalului când se face înregistrarea sau sinteza, deoarece respectarea specificaţiilor formatului **B** asigură, împreună cu setările difuzoarelor şi a decodorului, compatibiltatea captare-redare.

Sistemul Ambisonic de captare şi redare a sunetului este un sistem unitar bazat pe principii psihoacustice. Bazele teoretice au fost puse de Gerzon, Barton şi Fellgertt în 1983-1984 [41]. Acesta oferă o soluţie ierarhică completă de captare, înregistrare şi transmisie, în funcţie de numărul de canale utilizate depinzând numărul de dimensiuni ale sunetului redat.

Sistemul Ambisonic codifică, spre deosebire de cel cuadrofonic, corect sunetele din toate direcţiile în funcţie de componentele de presiune şi viteză şi decodifică corect aceste semnale pentru un anumit număr de difuzoare, folosind o filtrare optimă din punct de vedere psihoacustic, pentru a corecta efectul de umbrire al capului, şi o matrice de amplitudine pentru determinarea corectă a nivelurilor ce trebuie transmise fiecărui difuzor. Sistemul se constituie astfel în succesorul teoretic al stereofoniei cu două canale, deoarece extinde principiile lui Blumlein din 1931 [12], la sunetul ambiental (Surround).

Poziţia sursei sonore în cadrul câmpului sonor tridimensional este determinată prin codarea semnalelor ce alcătuiesc formatul **B**. Aceste semnale sunt (figura 3.15):

- componenta de ordinul zero *W*, care este componenta omnidirecţională,
- componenta de ordinul întâi, *X*, planul faţă spate care este în formă de opt,

Scanned with OKEN Scanner

- componenta de ordinul întâi, *Y*, planul stânga – dreapta care este tot în formă de opt,
- componenta de ordinul întâi, *Z*, planul sus – jos tot în formă de opt.

Atunci când este înregistrată şi componenta Z se creează oportunitatea pentru redarea spaţială. Aceasta implică totodată şi plasarea de difuzoare deasupra şi dedesubtul planului de ascultare.

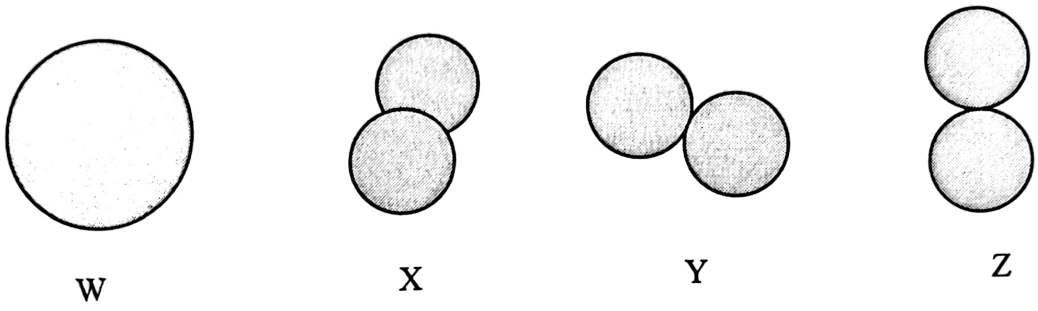


Figura 3.15. Definirea componentelor formatului **B**.

De fapt componentele armonice sferice W şi Y sunt echivalentul componentelor M şi S de la tehnica stereofonică pe două canale, Ambisonic fiind o extensie ce ţine cont de principiile psihoacustice. Expresiile matematice ale celor patru componente ale formatului **B** sunt:

$$\begin{aligned} X &= \cos A \cdot \cos B \\ Y &= \sin A \cdot \cos B \\ Z &= \sin B \\ W &= 0{,}707 \end{aligned} \qquad (3.7)$$

unde W este de fapt un semnal de presiune, A reprezintă unghiul plan măsurat din centru – faţă în sens invers acelor de ceasornic şi B reprezintă unghiul plan măsurat pe verticală (figura 3.16).

Pentru a poziţiona sunetul într-o sferă unitară trebuie îndeplinită condiţia:

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1 \qquad (3.8)$$

unde x, y, z reprezintă coordonatele sursei sonore. În acest caz ecuaţiile se pot scrie mai simplu astfel:

$$\begin{aligned} X &= x \\ Y &= y \\ Z &= z \\ W &= 0{,}707 \end{aligned} \qquad (3.9)$$

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea lui W a fost aleasă 0.707 şi nu 1 deoarece această valoare dă o distribuţie regulată a nivelelor pentru cele patru canale. O altă modalitate de a menţine nivelul global de sunet la o valoare constantă este aceea de genera valoare lui W astfel:

$$W = 1 - 0{,}293 \cdot (x^2 + y^2 + z^2) \qquad (3.10)$$

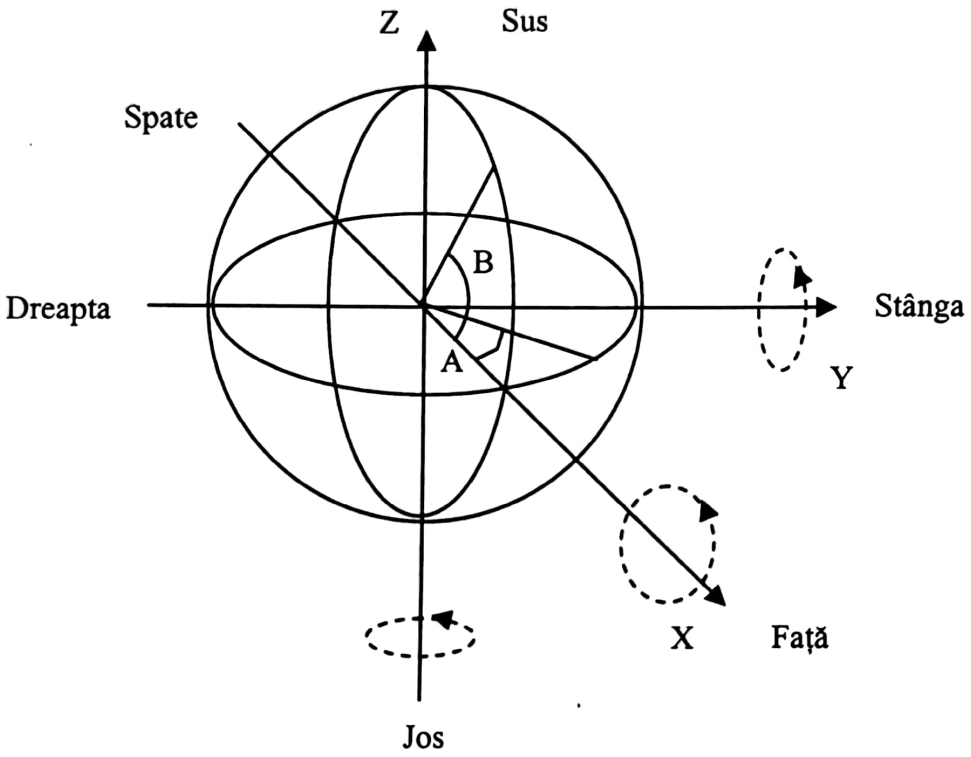


Figura 3.16. Definirea transformărilor formatului **B**.

Evident se mai pot face şi alte modificări ulterioare pentru a permite o creştere globală a nivelului sonor, la mişcarea sursei spre poziţia centrală, ceea ce corespunde mai bine realităţii.

La sistemul *Ambisonic* schema decodorului se bazează pe faptul că sunetele sunt plasate pe suprafaţa sau în interiorul unei sfere imaginare. În aceste condiţii radiaţia maximă a sunetului este considerată unitară. În aceste condiţii semnalele generate de microfon ambisonics (figura 3.14) pot fi sintetizate cu ajutorul ecuaţiilor 3.11.

$$\begin{aligned} X &= semnal \cdot \cos A \cdot \cos B \\ Y &= semnal \cdot \sin A \cdot \cos B \\ Z &= semnal \cdot \sin B \\ W &= semnal \cdot 0{,}707 \end{aligned} \qquad (3.11)$$

Scanned with OKEN Scanner

Aşa cum am mai precizat, coeficientul de multiplicare 0.707 de pe canalul W este rezultatul unor consideraţii legate de o distribuţie uniformă a nivelelor pentru cele patru canale atunci când sunetul este preluat cu ajutorul unui microfon *Soundfield* (figura 3.14).

În relaţiile 3.11 A reprezintă unghiul de rotaţie, luând ca referinţă centru – faţă şi B este unghiul de ridicare din planul orizontal. Aceşti coeficienţi de multiplicare (cosA, cosB) vor plasa sunetul monofonic oriunde în cadrul câmpului sonor, dând naştere la semnale de ieşire codate conform formatului **B**. Aceste semnale sunt obţinute cu ajutorul microfoanelor având caracteristicile echivalente cu cele din figura 3.15, având caracteristici de frecvenţă identice în domeniul de interes.

În cazul în care se doreşte transformarea semnalelor din formatul B, se ţine cont de următoarele definiţii (figura 3.16):

- Unghiurile pozitive de rotaţie sunt definite în sens invers deplasării acelor de ceasornic.
- O rotaţie este definită ca fiind o mişcare circulară după axe predefinite, axa *z* fiind aceea de mişcare în plan orizontal în sens invers acelor de ceasornic.
- O înclinare (Tilt) este definită ca fiind o rotaţie după o axă orizontală, de exemplu axa *x* care este aceeaşi cu mişcarea în planul stânga – dreapta, în sens invers acelor de ceasornic.
- O răsturnare (Tumble) este definită ca fiind o rotaţie după axa *y* care este aceeaşi cu mişcarea în planul faţă – spate. Putem spune deci, că o răsturnare este o înclinare care a fost rotită cu 90° după axa *z*.

În aceste condiţii ecuaţiile de transformare sunt:

a) rotaţie în jurul axei *z*

$$X' = X\cos A - Y\sin A$$
$$Y' = X\sin A + Y\cos A \qquad (3.12)$$

W şi Z rămân neschimbate.

b) înclinare (tilt – rotaţie după axa *x*)

$$Y' = Y\cos B - Z\sin b$$
$$Z' = Y\sin B + Z\cos B \qquad (3.13)$$

X şi W rămân neschimbate.

c) răsturnare (Tumble)

$$X' = X\cos B - Z\sin B$$
$$Z' = X\sin B + Z\cos B \qquad (3.14)$$

Aceste ecuaţii pot fi combinate pentru a realiza transformări complexe cum ar fi cea de rotire – înclinare care duce la o rotire unghiulară a întregului câmp sonor de intrare spre stânga cu un unghi A raportat la stânga – faţă şi respectiv B faţă de orizontală (relaţiile 3.15).

Scanned with OKEN Scanner

$$
\begin{aligned}
X' &= X \cdot \cos A - Y \cdot \sin A \\
Y' &= X \cdot \sin A \cdot \cos B + Y \cdot \cos A \cdot \cos B - Z \cdot \sin B \\
Z' &= X \cdot \sin A \cdot \sin B + Y \cdot \cos A \cdot \cos B + Z \cdot \cos B \\
W' &= W
\end{aligned}
\qquad (3.15)
$$

Pentru a realiza orice combinație a transformării câmpului sonor se poate utiliza relația 3.16.

$$
\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ W' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ K_5 & K_6 & K_7 & K_8 \\ K_9 & K_{10} & K_{11} & K_{12} \\ K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix} \qquad (3.16)
$$

unde K_1 – K_{16} sunt coeficienții de scalare obținuți prin aplicarea transformărilor câmpului sonor asupra semnalelor de intrare X, Y, W şi Z, iar X', W', Y' şi Z' sunt semnalele de ieşire rezultante ale formatului 'B'.

Ecuațiile prezentate pornesc de la premisa codării surselor de semnal la nivelul suprafeței unei sfere. Este important de precizat că informația de distanță percepută depinde într-o foarte mică măsură de puterea sunetului. De fapt pentru aprecierea corectă a distanței principalele informații şi caracteristici sunt:

- raportul dintre sunetul direct şi cel reflectat (cât de constantă se menține energia câmpului reverberant pentru diverse combinații de poziționare a ansamblului ascultător – sursă, asta deoarece puterea sursei scade odată cu creşterea distanței)
- modelul după care se consideră reflexiile undei sonore în mediul respectiv, având în vedere că acesta se modifică la schimbarea poziției sursei şi/sau ascultătorului.
- frecvența percepută scade progresiv cu distanța, prin absorbția datorată mediului
- puterea scade cu distanța

b. STEREO ŞI AMBISONIC

Semnalele formatului **B** nu sunt 100% compatibile cu sistemul stereo, dar este posibilă combinarea celor trei componente X, W şi Y, necesare pentru reproducerea orizontală, în aşa fel încât să se poată reda cele două canale compatibile stereo. În plus cu un decodor corespunzător se poate crea impresia unui sunet "surround" original. Câmpul sonor rezultant nu este perfect, dar cu o selecție potrivită a ecuațiilor de codare se pot plasa defectele în partea din spate a imaginii sonore, acolo unde urechea nu este atât de sensibilă.

Scanned with OKEN Scanner

Metoda de codare cunoscută sub numele de codare UHJ este folosită pentru realizarea de înregistrări stereo, compatibile Ambisonic. Semnalele X, Y şi W sunt transformate cu ajutorul unei matrici în două canale, folosind următoarele ecuaţii:

$$L = (0{,}0928 + 0{,}255j)X + (0{,}4699 - 0{,}171j)W + 0{,}3277Y$$
$$R = (0{,}0928 + 0{,}255j)X + (0{,}4699 - 0{,}171j)W - 0{,}3277Y \qquad (3.17)$$

unde L reprezintă canalul din stânga al sistemului stereo iar R canalul din dreapta. Termenul j din ecuaţii indică defazarea cu 90° faţă de semnalul original.

Codoarele UHJ pot fi suplimentate cu un al treilea canal, ce poate fi de bandă redusă, pentru a înlătura anomaliile ce apar la redarea orizontală. Numărul de canale poate fi suplimentat şi cu un al patrulea ce conţine informaţia de înălţime. Ecuaţiile de decodare sunt cele care coduc la o refacere corectă a oricărei variante.

3.3.3. SISTEMUL DOLBY SURROUND

a. SISTEMUL DOLBY SURROUND

Pentru mulţi oameni termenul de surround implică adăugarea a ceva nou la semnalul audio stereo, ceva care să necesite mai mult de două difuzoare pentru redare. Deşi acest lucru este adevărat trebuie menţionat că termenul de stereo nu se referă exclusiv la două canale de sunet ci poate însemna trei, patru, şase sau oricâte canale se doreşte. Cândva în evoluţia sistemelor de prelucrare a sunetului, termenul stereo a devenit sinonim cu transmisia pe două canale, asta în timp ce, în perioada anilor 1950-1960, au apărut şi dispărut mai multe formate multicanal.

La sfârşitul anilor '70, a fost adoptat sistemul Dolby Stereo ca şi sistem de reproducere stereofonică pe trei până la şase canale de sunet. Cea mai evidentă caracteristică a sistemului Dolby Stereo o constituie canalul adiţional care este reprodus de difuzoarele situate în partea din spate şi în părţile laterale ale sălilor de cinema, aceste difuzoare având drept scop crearea ambienţei sonore spaţiale. Următorul pas a fost dezvoltarea unei noi metode care să depăşească efectele sistemului Dolby Surround, dar de data aceasta pentru sistemele de sunet ordinare (de uz comun). Acest sistem a fost introdus în 1982 şi se bucură încă de o foarte mare popularitate având un mare succes pe piaţa audio-video.

Pentru reproducerea Surround, aranjamentul tipic al difuzoarelor este prezentat în figura 3.17. Deoarece nu este realizat nici un sistem de reproducere pe patru canale, existând posibilitatea prelucrării a numai două canale, se utilizează numai acestea urmând ca celelalte să fie utilizate exclusiv în cazul în care devine disponibil sistemul cu patru canale. Decodorul reface semnalele stânga (L), centru (C) şi dreapra (R) pentru a fi redate cu ajutorul celor trei difuzoare situate în partea din faţă a secnei redate, iar semnalul surround este extras şi distribuit printr-un aranjament de difuzoare ce înconjoară părţile laterale şi partea din spate a sălii

Scanned with OKEN Scanner

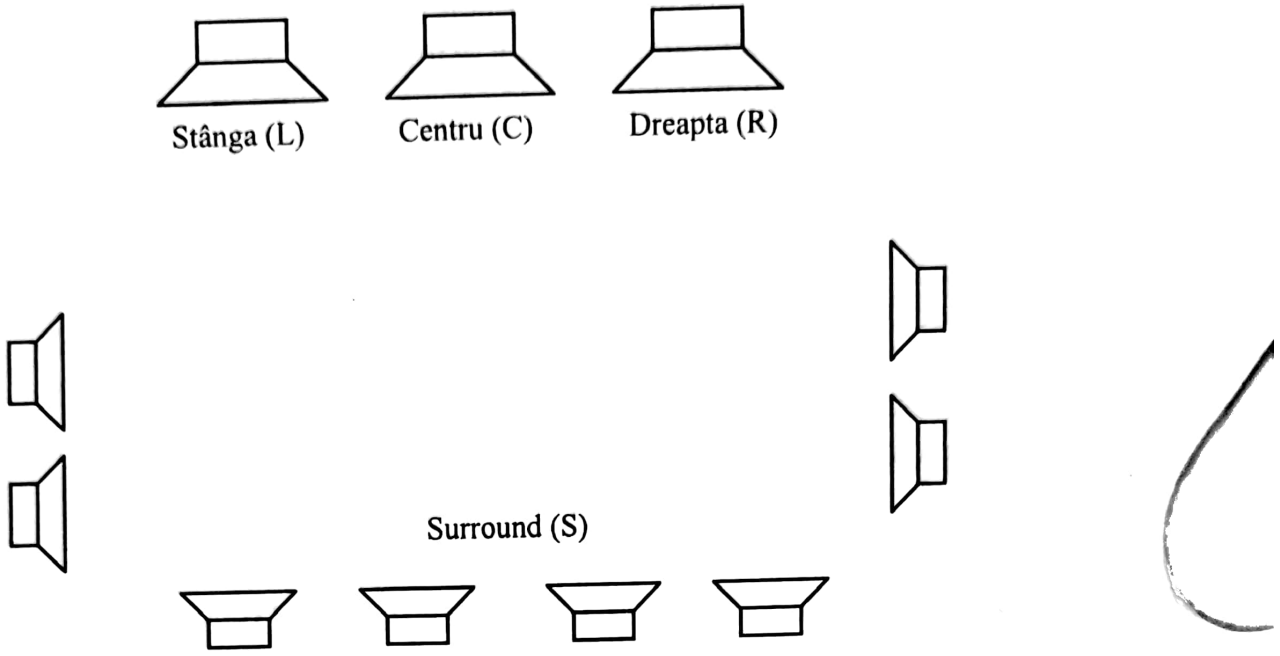


Figura 3.17. Aşezarea microfoanelor pentru sistemul surround.

Tehnicile pentru obținerea unui sunet surround sunt similare cu cele pentru reproducerea monofonică sau stereofonică. La prelucrare, pentru obținerea panoramării se utilizează un sistem în mai multe planuri (tip joystick). Dialogurile sunt concentrate în față, în timp ce muzica este trimisă spre toate cele trei difuzoare centrale. Pentru difuzoarele din spate şi cele laterale se realizează o uşoară întârziere pentru a se crea senzația că sunetul apare în principal dinspre ecran.

Pentru situația unei redări comune sistemul de difuzoare lateral-spate este înlocuit cu două difuzoare poziționate în spatele ascultătorului (dreapta şi respectiv stânga).

În cele ce urmează sunt prezentate schemele de principiu ale codorului (fig. 3.18.a) şi decodorului (fig.3.18.b), Dolby Surround. În urma codării rezultă semnalele L_t şi respectiv R_t, care conțin informația inițială stânga (L) şi respectiv dreapta (R), la care este adăugată informația centru (C) şi surround (S). Codarea şi decodarea Dolby B este realizată în scopul reducerii influenței semnalului L-R pe canalul S (Surround), iar compresia este mai mică decât în cazul real pentru a preveni eventualele dificultăți ce pot apare în cazul utilizării semnalelor L_t şi R_t pentru comanda directă a unor difuzoare [46]. De asemenea banda canalului S este limitată la 7 kHz. Defazajul de 180° dintre componentele surround pe cele două canale L şi repectiv R are rolul de a elimina influența acestuia în cazul unei redări pe două canale. Capacitatea canalului surround de a-şi proiecta imaginea sonoră în scena redată nu se bazează pe o izolare perfectă a semnalelor.

Acest sistem este utilizat cu succes în cinematografie şi o dată cu apariția tehnicilor numerice a fost implementat şi pentru televiziune.

Scanned with OKEN Scanner

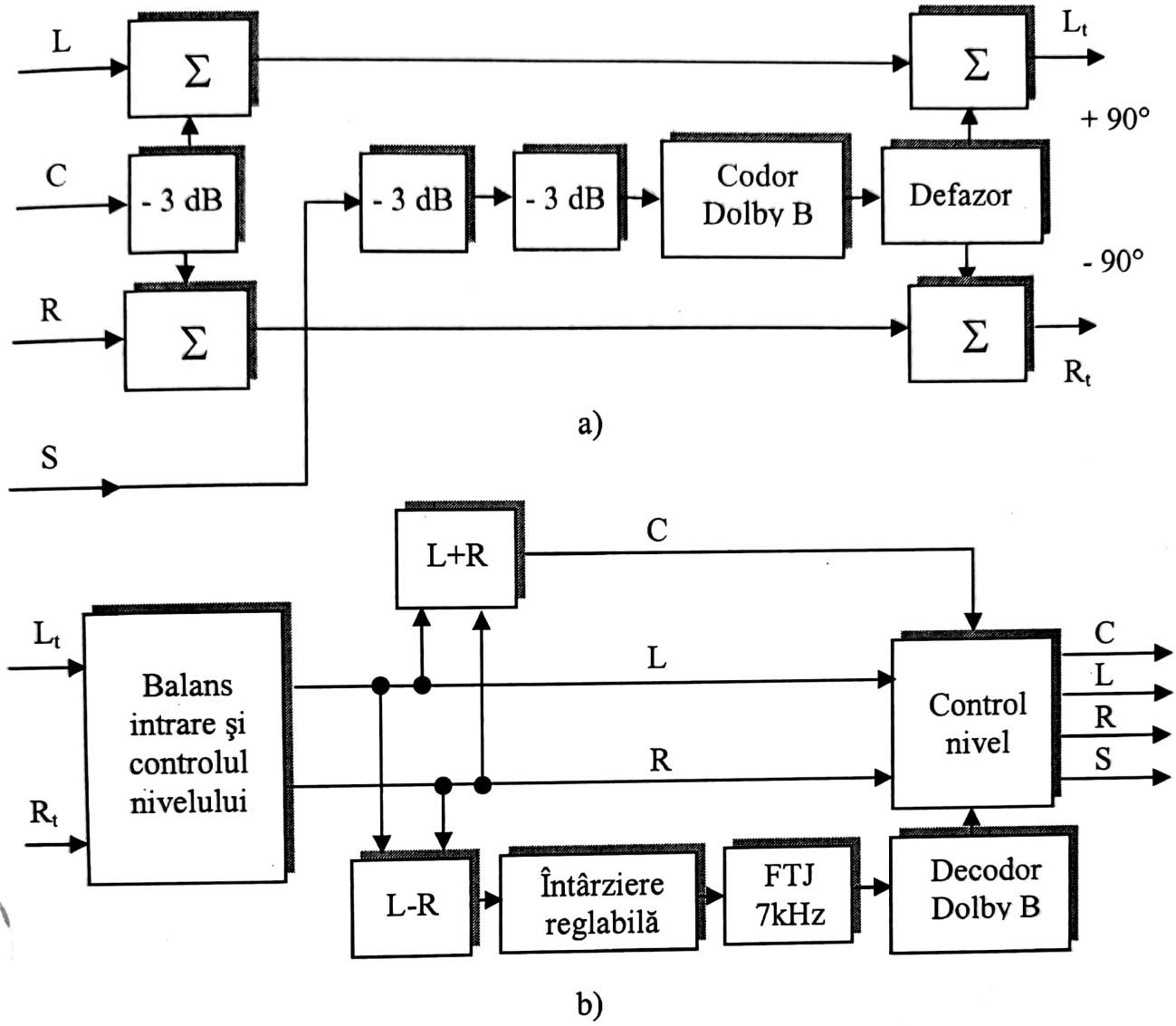


Figura 3.18. Schema bloc a sistemului Dolby surround: a) codorul, b) decodorul.

b. SISTEMUL DOLBY PRO LOGIC

Dolby Pro Logic reprezintă o variantă îmbunătăţită a decodorului Dolby Surround, el decodând tot semnale codate Dolby Surround. Problema principală a acestui sistem a fost, că datorită circuitului de decodare complex odată cu creşterea performanţelor creştea şi preţul de cost. Acst obstacol a fost depăşit un an mai târziu, prin dezvoltarea unui circuit integrat pe scară largă care a făcut ca preţul decodorului să devină rezonabil. Pro Logic este un proces activ care îmbunătăţeşte localizarea sunetului folosind tehnici de decodare cu separare foarte bună. Acest sistem este descendentul direct al decodorului folosit de procesoarele cinematografice Dolby Stereo.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece decodoarele pasive folosesc un etaj diferențial simplu pentru a extrage semnalul surround din semnalele de intrare Lt şi Rt, se obține o bună separare a canalelor frontale dar localizarea se face corect doar în anumite cazuri particulare. În plus, chiar şi cu ajutorul procesării canalului surround, nu este posibilă obținerea unui grad ridicat de izolare față-spate deoarece difuzoarele surround reproduc orice informație diferențială din semnalele Lt şi Rt. Datorită acestui fapt decodoarele pasive sunt limitate în a oferi o informație de localizare exactă a sunetului.

Sporirea controlului direcției se referă la o tehnică prin care se elimină efectele de încrucişare ale sistemului matricial, prin manevrarea semnalelor de ieşire ale decodorului. Scopul acest tehnici este de a crea imagini sonore focalizate şi de a recrea informația direcțională pentru acoperirea unei airi largi de ascultare. Un decodor activ poate fi privit ca un decodor pasiv urmat de un circuit de ameliorare. Acest circuit poate fi un amplificator cu controlul în tensiune, cu ajutorul căruia se poate modifica câştigul pentru fiecare semnal.

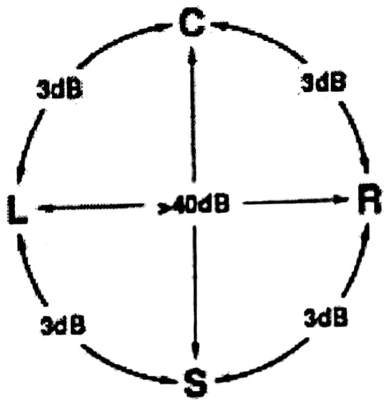


Figura 3.19. Harta de separara a semnalelor de ieşire.

Considerăm cazul în care avem doar un singur dialog, pe canalul central (Lt=Rt). Harta de decodare pasivă din figura 3.19 arată că informația este purtat atât de către canalul central cât şi de ieşirile dreapta şi stânga, dar atenuat cu 3 dB. Cu ajutorul circuitelor de control, decodorul elimina diafonia cu canalele stânga şi dreapta, prin anularea câştigului pe aceste căi, lăsând doar canalul central la ieşire. De fapt, pentru orice canal de intrare, separarea poate fi complet refăcută la fel de simplu ca şi pentru un sistem discret pe patru canale.

Matricea adaptivă Pro Logic reprezintă chintesența decodorului Pro Logic. La fel ca şi la decodorul Surround, decodorul Pro Logic are ca semnale de intrare Lt şi Rt, iar la ieşire cele patru semnale rezultante L, C, R şi S. Comparând schema bloc a decodorului Pro Logic din figura 3.20 cu schema bloc a decodorului Surround din figura 3.18, se constată că sunt aemănătoare, excepția reprezentând-o matricea adaptivă şi controlul canalului central. În principiu decodorul Pro Logic operează prin monitorizarea semnalului dominant pentru a realiza corecția dominației.

Scanned with OKEN Scanner

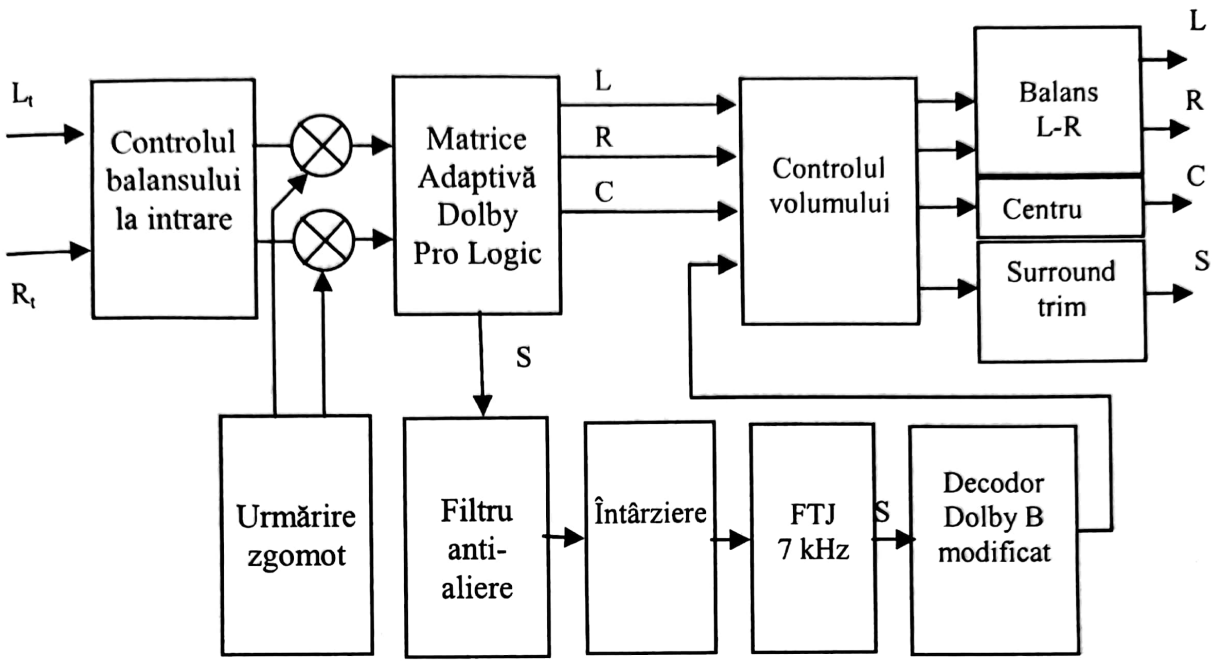


Figura 3.20. Schema bloc a decodorului Dolby Pro Logic.

c. SISTEME DOLBY DIGITALE

Trecerea la reprezentarea numerică a semnalului sonor (vezi capitolul 8), a necesitat codarea informației în scopul reducerii debitelor rezultate în urma discretizării. Această reducere se cerea a fi realizată fără deteriorarea calității semnalului. Principiile ce au stat la baza tehnicilor de reducere a debitului au ținut cont de particularitățile sistemului auditiv uman şi în special de efectul de mascare (2.1.3.f).

Primul sistem de transmisie digitală a sunetului multicanal a fost dezvoltat de către laboratoarele Dolby şi a primit denumirea de Dolby Digital [28]. Acest sistem propune şase canale de sunet, şi anume: stânga, centru şi dreapta, pentru partea din față, spre care sunt direcționate dialogurile şi încă două canale separate denumite stânga surround şi dreapta surround care merg la difuzoarele plasate în spate şi pe părțile laterale şi care creează senzația de sunet ambiental, fiecare din aceste canale purtând sunete din toată banda audio. Cel de-al şaselea canal, numit şi canalul pentru efecte de joasă frecvență LFE (Low Frequency Effects), conține informație adițională de bass, pentru a maximiza impactul scenelor cum ar exploziile, accidentele etc. Deoarece acest canal are un răspuns în frecvență limitat la banda de 3 Hz până la 120 Hz el este cunoscut sub denumirea de canalul .1 iar atunci când este adăugat la celelalte cinci canale se va ajunge la sistemul cunoscut sub numele de Dolby Digital 5.1.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru codare s-a propus inițial un sistem matricial care coda o sursă de sunet multicanal pe o pereche stereo care era apoi codată digital cu sistemul AC-1 (AC-1 este o tehnică de codare bazată pe modulație delta), la recepție cele două canale audio putând fi decodate, opțional, în patru canale folosind un decodor matricial. Această propunere folosea sistemul matricial 4:2:4 ca un sistem de reducere a ratei de biți de 2:1. Începând cu anul 1989, avansarea tehnologiilor de codare și a arhitecturii procesoarelor de semnal a făcut posibilă trecerea de la tehnologia de codare AC-1 la tehnologia AC-2, matricile multicanal rămânând.

Principalele sisteme digitale multicanal sunt:

- **Sistemul AC-2** – sistem de codare ce folosește tehnica divizării domeniului de frecvență în mai multe sub-benzi și transformarea din domeniul timp în domeniul frecvență. Schema este una dinamică prin selecția lungimii optime a blocului de transformare. Tehnica de transformare folosită se bazează pe TDAC (Time Domain Aliasing Cancellation – Eliminarea erorii alierii în domeniul timp),
- **Sistemul AC-3** – sistem de codare flexibil pentru compresia datelor pentru o gamă largă de semnale audio (de la semnale monofonice și până la sistemele de 5 + 1 canale). Codorul utilizează o alocare adaptivă hibridă a biților, înainte înapoi. Soluția prezintă un banc de filtre de analiză și sinteză pentru implementarea TDAC, realizându-se un compromis între întârzierea de codare și rata de bit obținută (viteza de codare și eficiența sistemului de codare).
- **Sistemul Dolby E** – sistem de codare dezvoltat în laboratoarele Dolby pentru conversia sunetului din producțiile TV în sunet audio multicanal. Acest sistem codează până la 8 canale audio plus metadate la o rată standard de 1,92 Mbps (semnal audio eșantionat cu 48 kHz și 20 biți pe eșantion). Cea mai folosită configurație fiind 5.1 + 2. Este un sistem profesional folosit doar pentrun transmisii și post-producție. Suportă majoritatea standardelor video internaționale (inițial a fost proiectat pentru frecvența cadrelor de 29,97 cadre/s). În viitor se preconizează compatibilitatea cu cuvinte audio de 16 și respectiv 24 biți (vezi capitolul 8).
- **Sistemul DTS (Digital Theatre Surround)** – este un sistem de codare decodare care comprimă informația digitală a șase canale audio cu 20 biți/eșantion în spațiul alocat doar pentru două canale PCM (Pulse Code Modulation – modulația impulsurilor în cod) liniare pe 16 biți. Algoritmul de compresie audio utilizat poartă denumirea de Coherent Acoustics a cărui principală sarcină este maximizarea calității semnalului audio în cadrul unui debit impus. Efectul este acela că nu se exploatează redundanța semnalului pentru scăderea debitului ci pentru a permite o reproducere mai precisă a acestora la același debit ca și al semnalului codat PCM.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 4

MICROFOANE

Microfonul este dispozitivul ce realizează conversia energiei acustice a sunetului într-un semnal analogic şi, în principiu, trebuie să facă aceasta fără nici o schimbare importantă în conţinutul informaţiei. Din acest punct de vedere trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- să producă un semnal electric suficient de mare în comparaţie cu propriul semnal de zgomot, pentru sunete normale;
- să fie capabil să furnizeze un semnal de ieşire nedistorsionat pentru niveluri normale ale sunetului;
- să producă un semnal aproximativ constant, indiferent de frecvenţa sunetelor captate;
- să nu perturbe prin prezenţa sa câmpul sonor în care a fost introdus.

Principiile constructive, de funcţionare, parametrii şi caracteristicile microfoanelor sunt aceleaşi atât pentru microfoanele monofonice, cât şi pentru cele stereofonice, capsulele acestora fiind identice. Sunt situaţii în care captarea stereofonică a sunetului se realizează cu microfoane monofonice (procedeul AB, paranomare, microfoane auxiliare).

Ultima dintre condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească microfoanele impune însă anumite restricţii privitoare la dimensiunile sale. Într-adevăr, dacă o undă sonoră întâlneşte un obstacol, cum este microfonul, ea se reflectă de suprafaţa acestuia, iar dacă dimensiunea sa este mai mare decât lungimea de undă, atunci unda suferă o reflexie puternică sau o difracţie, care poate determina modificarea undei sonore. Fiind legat de lungimea de undă, efectul de difracţie variază cu frecvenţa sunetului.

Rezultă că un microfon poate transmite fidel o anumită frecvenţă dacă dimensiunea lui este mai mică decât lungimea de undă corespunzătoare. De exemplu, pentru a reda corect frecvenţa de 10.000 Hz, microfonul trebuie să aibă un diametru mai mic decât:

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3{,}4 \text{ cm} . \qquad (4.1)$$

La frecvenţe mai mari, această condiţie este greu de realizat în practică, mai ales dacă se cere ca microfonul să aibă o bandă de lucru de 15.000 Hz. Din acest motiv, fenomenul de difracţie se face simţit sub forma unei directivităţi la frecvenţe, în medie, mai mari de 3.000 Hz. Dar la frecvenţe înalte, la această directivitate se mai adaugă încă un efect de directivitate, cauzat de undele care cad oblic pe diafragmă şi sunt reflectate.

Din studiile realizate privitor la forma carcasei microfonului a reieşit că, la aceleaşi dimensiuni, sfera dă cel mai mic efect de difracţie, motiv pentru care microfoanele de calitate au formă sferică.

Microfoanele diferă unele faţă de altele prin modul în care vibraţiile aerului sunt convertite în semnal electric. La cele mai multe microfoane, elementul principal îl constituie diafragma, care vibrează sub acţiunea undelor sonore. Diametrul ei trebuie să corespundă condiţiilor de minimă difracţie, dar, întrucât micşorarea ei conduce la reducerea sensibilităţii, se realizează un compromis între cele două cerinţe contradictorii.

4.1. CARACTERISTICILE MICROFOANELOR

Microfoanele pot fi caracterizate printr-o serie de indici calitativi, care constituie date importante pentru utilizarea acestora în instalaţiile de captare a sunetului.

a. SENSIBILITATEA

Tensiunea electrică care apare la bornele microfonului este proporţională cu presiunea sonoră exercitată asupra membranei, respectiv cu viteza particulelor de aer care antrenează membrana. Sensibilitatea se defineşte ca raportul dintre tensiunea electrică, în milivolţi, dată de microfon şi presiunea sonoră excitatoare, în microbari. O dată cu indicarea sensibilităţii trebuie să se specifice şi modul de măsurare al tensiunii - în gol sau pe o rezistenţă de sarcină. Sensibilitatea se mai exprimă şi în dB, luându-se ca referinţă 1 V/μbar.

b. CARACTERISTICA DE FRECVENŢĂ

Sensibilitatea microfoanelor variază cu frecvenţa sunetelor. Caracteristica de frecvenţă care arată această dependenţă se dă fie indicând abaterile sensibilităţii faţă de sensibilitatea la frecvenţa de 1.000 Hz, fie prin reprezentarea curbei de variaţie a sensibilităţii. Abaterile se indică de obicei în dB. Un exemplu de caracteristică de frecvenţe furnizată de producător este prezentat în figura 4.1.

Scanned with OKEN Scanner

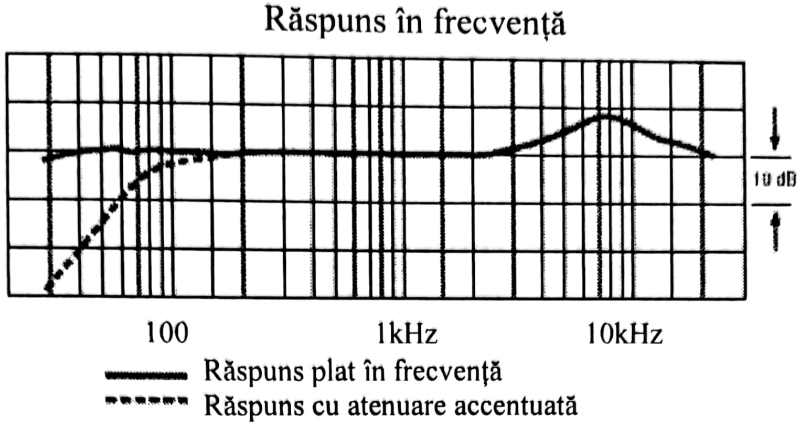


Figura 4.1. Caracteristica de frecvență a microfonului PZM 23 produs de firma Shure.

c. REZISTENȚA INTERNĂ

Aceasta depinde de tipul constructiv şi de principiul de funcționare. În majoritatea cazurilor, rezistența internă este chiar impedanța de ieşire a microfonului (microfoanele dinamice au rezistența internă mică iar cele condensator rezistența internă mare).

În funcție de valoarea rezistenței interne se stabileşte lungimea admisibilă a cablului de legătură dintre microfon şi preamplificator, care nu afectează calitatea semnalului (la microfoanele cu rezistența mică se poate conecta un cablu de legătură mai lung, iar la cele cu rezistență mare un cablu de legătură mai scurt).

Cele mai multe din microfoanele profesionale au impedanță scăzută (în jurul a 200 Ω) fiind proiectate să lucreze în medii având impedanțe de până la 2000 Ω. Microfoanele de impedanță ridicată, 50 kΩ, sunt proiectate să lucreze pe impedanțe foarte mari 1 - 10 MΩ.

d. DISTORSIUNILE DE NELINIARITATE

În afară de microfoanele cu cărbune, toate microfoanele au distorsiuni relativ mici, acestea indicându-se în general ca factor de distorsiuni la presiuni foarte mari (200 μbari).

e. ZGOMOTUL MICROFONULUI

Dacă un microfon este plasat într-un mediu complet liniştit (presiunea acustică fiind nulă), ar trebui ca tensiunea la bornele sale să fie zero. Totuşi, la bornele microfonului apare o mică tensiune datorată unor surse interne de zgomot care se raportează la sensibilitatea microfonului şi se exprimă în dB. Pentru microfoanele de calitate, raportul trebuie să fie de cel puțin 60 dB. Calculul zgomotului datorat agitației termice se realizează cu ajutorul relației:

Scanned with OKEN Scanner

$$U_{zg} = \sqrt{4KT\Delta fR}\,, \qquad (4.2)$$

în care: K este constanta lui Boltzmann $K=1{,}38\times10^{-23}$ J/K, T temperatura absolută, R rezistența și Δf banda de trecere a sistemului.

f. CARACTERISTICA DE DIRECTIVITATE

Această caracteristică se urmăreşte pe diagramele polare. Aici microfonul este figurat în centrul diagramei, cu fața spre diviziunea zero, spatele corespunzând diviziunii 180°. Pe diagramă sunt trasate o serie de cercuri la distanțe egale. Cercul exterior reprezintă sensibilitatea maximă, iar centrul figurii pe cea nulă.

Pe diagramă se notează sensibilitățile obținute prin măsurători la aceeaşi frecvență a sunetului, pentru diferite unghiuri dintre axa microfonului şi direcția undei sonore. Unind toate punctele se obține o curbă polară. Pe aceeaşi diagramă se trasează polarele pentru mai multe frecvențe şi se obține astfel o imagine clară a proprietăților directive ale microfonului. Caracteristicile de directivitate ale unui microfon variază cu frecvența, microfonul fiind în general mai directiv la frecvențele mai înalte decât la cele joase.

Curbele polare înlesnesc alegerea tipului de microfon şi arată amplasamentul optim față de sursa sonoră. În figura 4.2 sunt prezentate caracteristicile polare ale microfonului SM 58 produs de firma Shure.

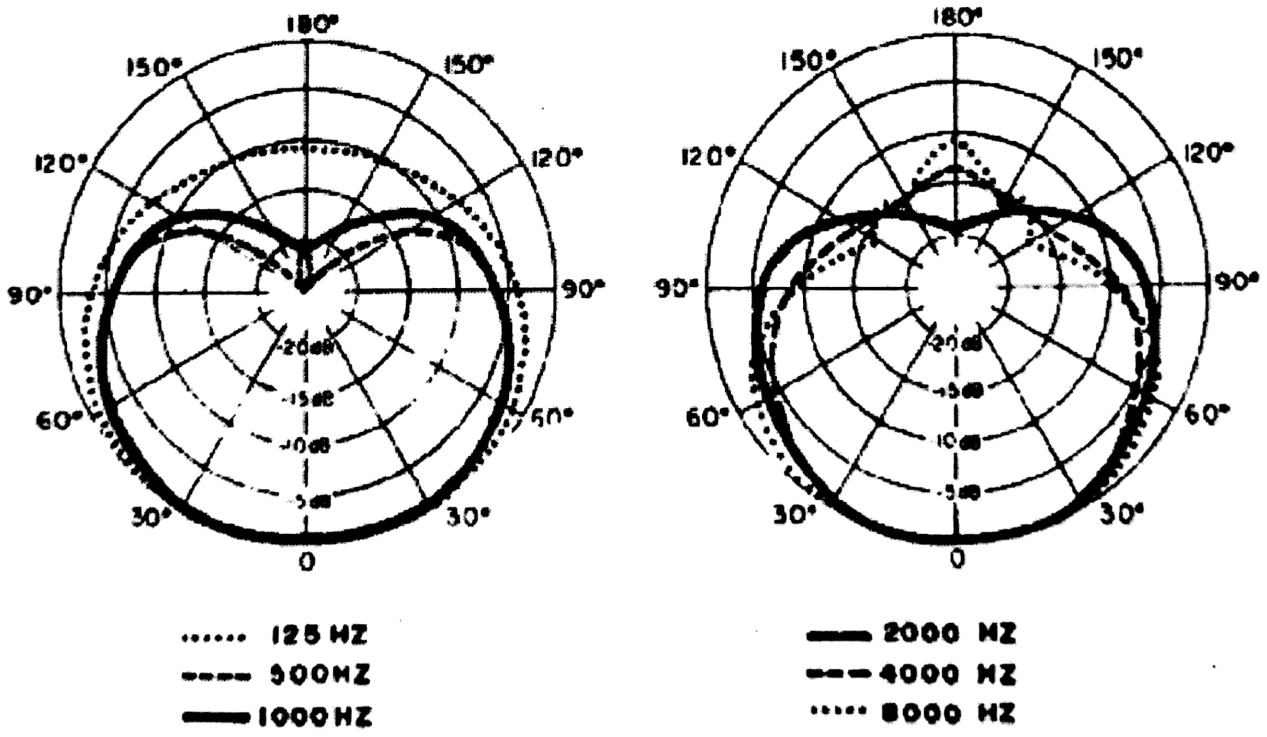


Figura 4.2. Variația caracteristicii de directivitate a microfonului SM 58 produs de firma Shure.

Scanned with OKEN Scanner

4.2. CLASIFICAREA MICROFOANELOR

a. ÎN FUNCȚIE DE PRINCIPIUL TRADUCTORULUI

Microfoanele sunt traductoare electro-acustice care captează sunetele şi transformă energia acustică în energie electrică. Pentru a efectua această transformare se foloseşte variaţia momentană a presiunii aerului, cauzată de unda sonoră sau viteza cu care oscilează particulele de aer din cauza undei sonore. Din acest punct de vedere putem avea:

- microfoane de presiune, la care folosirea unei cavităţi închise de aer, în spatele diafragmei, dă caracteristica respectivă; astfel diafragma este supusă la două presiuni opuse, ea vibrând sub acţiunea diferenţei dintre presiunile exterioare şi cea a cavităţii;
- microfoane de viteză, la care diafragma este liberă pe cele două feţe şi se deplasează, teoretic, cu viteză egală cu cea a particulelor de aer;
- microfoane combinate.

b. ÎN FUNCȚIE DE CARACTERISTICA DE DIRECTIVITATE

- microfoane omnidirecţionale, care sunt la fel de sensibile faţă de undele care vin din toate direcţiile (caracteristica polară sub formă de cerc, figura 4.3.a; microfoane de presiune pentru frecvenţe sub 800 Hz);
- microfoane bidirecţionale, la care sensibilitatea este maximă pe o singură direcţie, în ambele sensuri (caracteristica polară sub formă de opt, figura 4.3.b; microfoane de viteză);

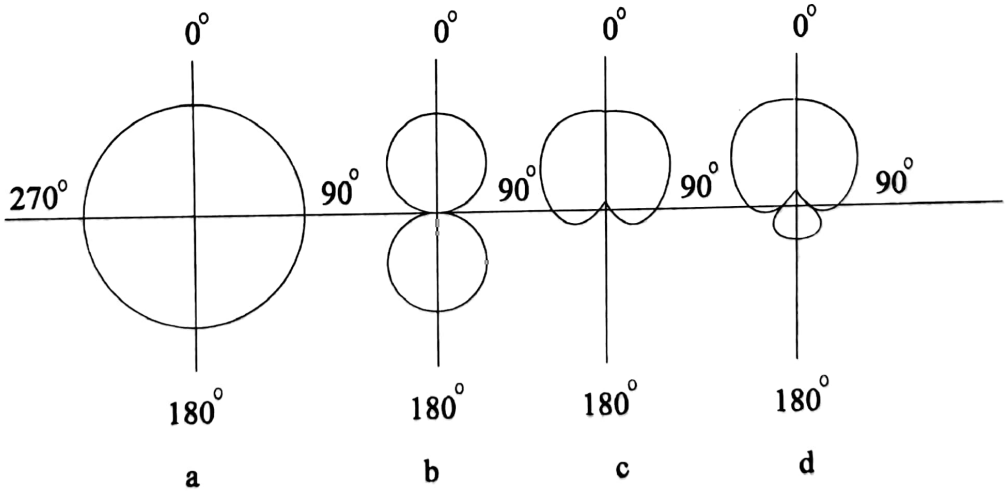


Figura 4.3. Principalele caracteristici de directivitate a microfoanelor.

- microfoane semidirecţionale, la care sensibilitatea este practic independentă de direcţia undei acustice incidente într-un unghi solid de 2 Ω (curba de tip cardioidă,

Scanned with OKEN Scanner

figura 4.3.c; sau hipercardioidă, figura 4.3.d, utilizate în special pentru realizarea microfoanelor combinate);
- microfoane unidirecționale, cu un maxim accentuat în direcția undelor incidente (caracteristica polară sub forma unei elipse cu microfonul într-un focar; acestea fiind în general microfoane de presiune utilizate pentru frecvențe de peste câteva mii de Hz);
- microfoane cu caracteristici complexe, la care se poate modifica relativ simplu caracteristicile de directivitate.

c. ÎN FUNCȚIE DE MODUL DE TRANSFORMARE A ENERGIEI

1. microfoane electrodinamice, la care principiul folosit este generarea unor curenți induşi într-un conductor ce se deplasează într-un câmp magnetic; această clasă se divide la rândul ei în:
   - microfoane cu bobină (dinamice),
   - microfoane cu bandă;
2. microfoane piezoelectrice (cu cristal), la care sunt folosite proprietățile piezoelectrice ale unor cristale. În această clasă se întâlnesc microfoane celulare şi microfoane piezoelectrice cu membrană;
3. microfoane electrostatice (cu condensator) la care se foloseşte variația unei capacități sub acțiunea undelor sonore;
4. microfoane cu electreți, o realizare bazată pe proprietățile unor materiale dielectrice ce prezintă o electrizare permanentă; pot fi asimilate cu microfoanele condensator la care sursa de tensiune este însăşi electretul;
5. microfoane cu cărbune, care se bazează pe variația unei rezistențe de contact;
6. microfoane speciale:
   - microfon cu magneto-stricțiune,
   - microfon electronic, la care variază fluxul electronic într-un tub cu vid, când se deplasează unul dintre electrozi,
   - microfonul ionic - variația impedanței unui volum de aer ionizat,
   - microfon termic - variații ale unei rezistențe produse de variații ale temperaturii sub efectul undelor acustice.

d. ÎN FUNCȚIE DE APLICAȚIE

- microfon de gură sau de apropiere;
- microfon labial (plasat pe buzele vorbitorului);
- microfon laringofon, care este plasat pe gâtul vorbitorului şi care nu este sensibil la variațiile aerului ci la vibrațiile mecanice ale laringelui. El permite comunicarea în medii foarte zgomotoase;
- microfon sondă, care permite explorarea unui câmp acustic fără a-l perturba, de exemplu în medicina internă;

Scanned with OKEN Scanner

- radio microfoane, la care legătura între microfon şi preamplificator se realizează prin unde radio (fără fir).

4.3. TIPURI DE MICROFOANE

a. MICROFOANE ELECTRODINAMICE CU BOBINĂ

Structura tipică a acestora este prezentată în figura 4.4. Bobina B este fixată de diafragma D a microfonului şi este situată în întrefierul inelar I al magnetului permanent M. Când diafragma vibrează sub acţiunea oscilaţiilor sonore, în bobina ale cărei spire intersectează liniile de forţă ale câmpului magnetic se induce o forţă electromotoare proporţională cu presiunea sonoră.

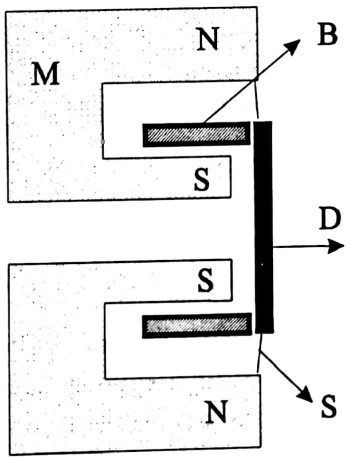


Figura 4.4. Structura microfonului electrodinamic.

Proprietăţile acestor microfoane sunt:

- caracteristica de frecvenţă destul de bună (neuniformitate maximă de circa 8 dB, în banda de frecvenţe între 50 şi 15.000 Hz);
- sensibilitate redusă (nivel de ieşire de - 78 dB pentru 1.000 Hz);
- nu are nevoie de sursă de alimentare;
- poate lucra în limite largi de temperatură şi la umiditate ridicată;
- nu este sensibil la trepidaţii.

Este utilizat pentru înregistrarea sunetului în radiodifuziune.

b. MICROFOANE CU BANDĂ

O bandă uşoară de aluminiu B este suspendată între piesele polare ale unui magnet permanent puternic (figura 4.5). În ritmul vibraţiilor sonore, banda

intersectează liniile de forţă ale câmpului magnetic şi în ea se induce o forţă electromotoare proporţională cu presiunea sonoră.

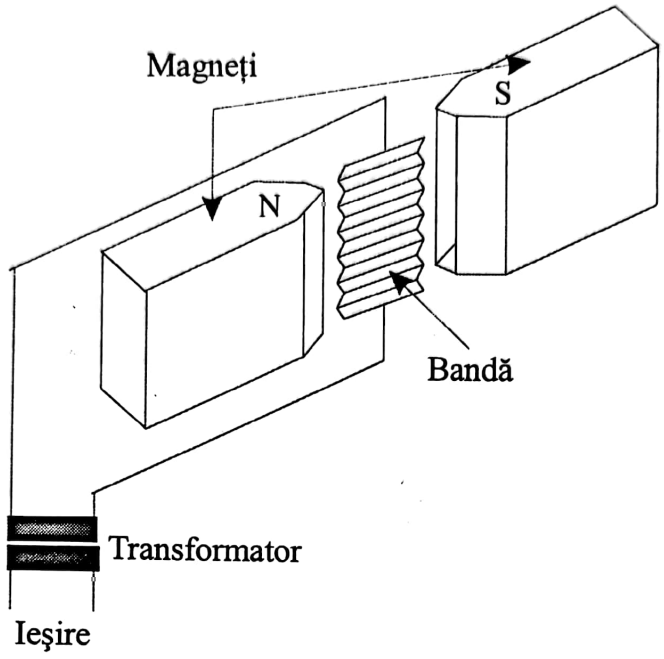


Figura 4.5. Construcţia microfonului cu bandă.

Dacă microfonul este astfel construit încât presiunea sonoră acţionează numai pe o parte a benzii, el se numeşte microfon de presiune (figura 4.6.b), dacă însă presiunea îşi exercită acţiunea asupra ambelor părţi ale benzii, microfonul poartă numele de microfon de viteză (figura 4.6.a).

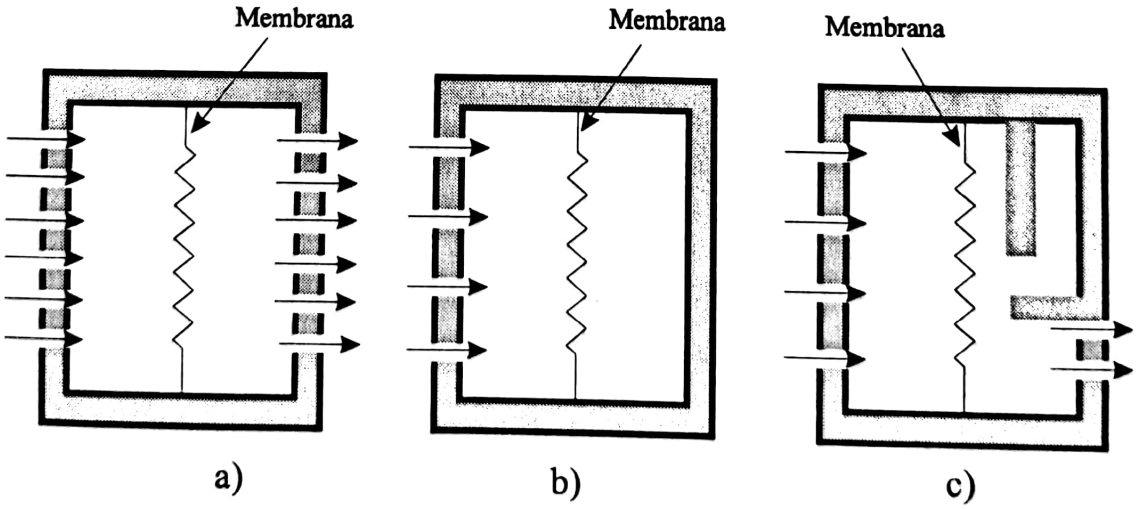


Figura 4.6. Principiile de funcţionare ale microfoanelor.

Combinarea unui microfon de presiune cu unul de viteză permite obţinerea unui microfon combinat, cu proprietăţi directive (adică un microfon care este mult mai

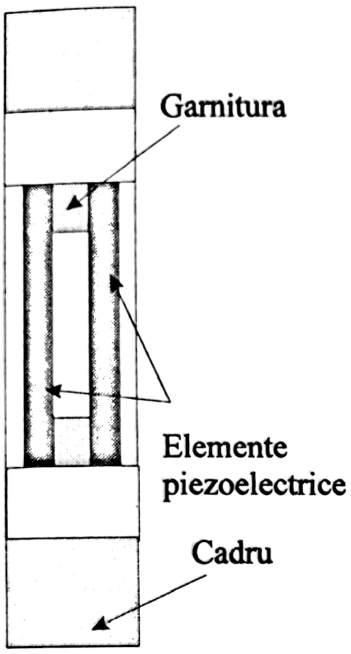


Figura 4.7. Microfonul celular.

sensibil la sunete ce vin dintr-o anumită direcţie - figura 4.6.c). Microfonul combinat poate fi realizat şi dintr-un microfon cu bandă şi dintr-un microfon dinamic.

Proprietăţi:

- nu are nevoie de sursă de alimentare;
- are caracteristica de frecvenţă bună (neuniformitate în bandă de 5 dB pentru frecvenţe între 50 şi 10.000 Hz);
- sensibilitate ridicată pentru frecvenţe audio inferioare pentru microfonul de viteză;
- sensibilitate generală redusă (-75 dB, la frecvenţa de 1.000 Hz).

Aceste microfoane sunt utilizate în radiodifuziune pentru înregistrarea sunetului. Sunt recomandate pentru utilizarea în încăperi închise pentru a se evita influenţa curenţilor de aer (vântului) asupra benzii.

c. MICROFOANE PIEZOELECTRICE

Presiunea sonoră care acţionează asupra unui element piezoelectric provoacă în acesta deformaţii mecanice, sub acţiunea cărora apare o diferenţă de potenţial proporţională cu presiunea sonoră pe element. Microfoanele de acest tip se construiesc în două variante: celulară şi cu membrană.

Proprietăţi:

- construcţie simplă;
- caracteristica de frecvenţă suficient de bună;
- foarte sensibil la umiditate şi variaţii de temperatură.

Microfonul celular, prezentat schematic în figura 4.7, este compus din două elemente piezoelectrice, P, fixate într-un cadru C confecţionat din material izolant şi separate cu ajutorul unei garnituri G din material vâscos. Întreaga celulă se acoperă în exterior cu hârtie subţire. Presiunea sonoră acţionează direct asupra elementului piezoelectric. Sensibilitate redusă 0,1-0,5 mV/μbar.

Utilizare mai ales în măsurări acustice.

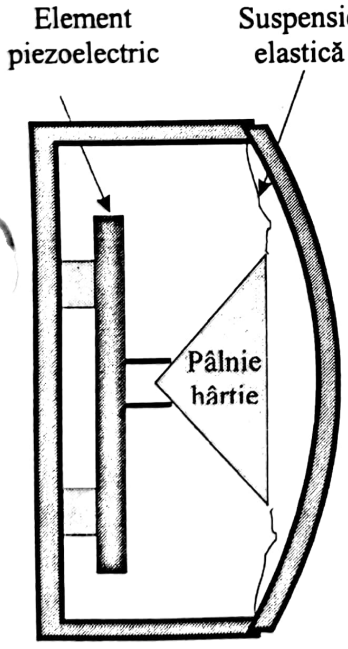


Figura 4.8. Microfonul piezoelectric cu pâlnie .

Microfonul piezoelectric cu membrană (figura 4.8) este compus dintr-o membrană conica, M, confecţionată din hârtie sau foiţa de aluminiu şi legată rigid cu elementul piezoelectric P. Presiunea sonoră acţionând asupra membranei, transmite vibraţiile elementului piezoelectric. Sensibilitate acestora este mai mare decât a microfoanelor celulare (2,5 mV/μbar).

Scanned with OKEN Scanner

Utilizarea este însă redusă datorită instabilității. Nu se folosește pentru înregistrări de înaltă calitate, fiind întâlnit la microfoanele pentru amatori.

d. MICROFOANE CAPACITIVE SAU CONDENSATOR

Schema de principiu este prezentată în figura 4.9. Sub acțiunea presiunii sonore, diafragma D vibrează. Diafragma constituie una din armăturile condensatorului și anume armatura mobilă. Cealaltă armatură o formează electrodul masiv fix E. Vibrațiile diafragmei provoacă variația capacității acestui condensator, iar ca urmare în circuitul compus din acesta, capacitatea C, rezistențele R_1 și R_2 și amplificatorul A apare o tensiune electromotoare variabilă. Ca rezultat, la ieșirea transformatorului apare o tensiune de audiofrecvență alternativă, proporțională cu presiunea sonoră.

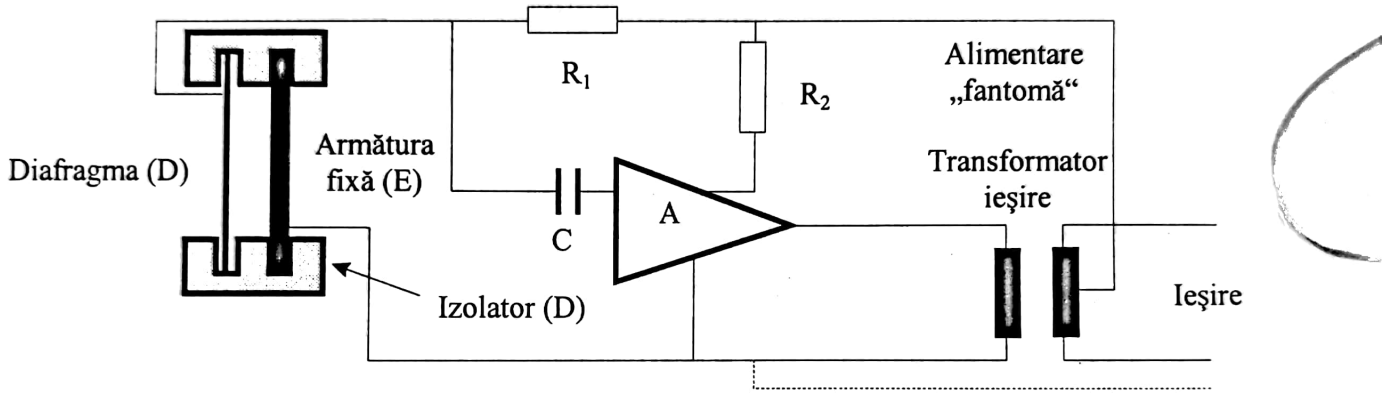


Figura 4.9. Principiul microfonului condensator. Alimentarea „fantomă“.

Principalul dezavantaj al acestui tip de microfon este tensiunea de alimentare necesară pentru crearea capacității. Așa cum se observă din figură, se folosește așa-zisa alimentare „fantomă“.

Pentru a realiza diferite caracteristici de directivitate se practică o serie de orificii în armătura fixă, asemănătoare cu cele de la microfoanele cu bandă.

Proprietăți:

- caracteristica de frecvență relativ uniformă (neuniformitate maximă de 4 dB pentru o bandă de frecvență 50-10.000 Hz, pentru un microfon unidirecțional);
- sensibilitate redusă (1,4 mV/μbar pentru 1.000 Hz);
- necesită sisteme de alimentare complicate;
- este posibilă slăbirea diafragmei cu timpul.

Utilizări:

- în măsurări acustice;
- pentru transmisii și înregistrări de calitate a sunetului în studiouri, săli de concert și teatre (neuniformitate în bandă 40 - 15.000 Hz de 6 dB, cu sensibilitate de 1,4 mV/μbar);
- pentru înregistrări de înaltă calitate și pentru imprimări pe filme cinematografice.

Scanned with OKEN Scanner

e. MICROFOANE CU ELECTRET

Microfonul cu electret este o variantă a microfonului condensator, cu deosebirea că nu necesită un preamplificator cu impedanța foarte mare de intrare şi ameliorează unele dintre deficiențele acestuia.

În acest caz membrana microfonului este realizată dintr-o folie de electret, care reprezintă un strat subțire izolant, încărcat pe ambele fețe cu sarcini electrice de semne opuse. Electretul se realizează astfel: masa plastică topită (izolantul) este supusă unui câmp electrostatic foarte puternic, sub acțiunea căruia se produce polarizarea moleculelor. Se lasă apoi folia izolantă să se răcească în acest câmp, obținându-se o folie încărcată cu sarcini opuse pe cele două fețe, care produce un câmp electrostatic asemănător celui produs de un magnet permanent.

Una din fețele foliei de electret se metalizează şi constituie armătura mobilă a condensatorului. Armătura fixă rigidă se realizează din metal, care se aşază pe fața metalizată (izolată) a foliei de electret. Între folia de electret şi armătura fixă există un strat de aer de ordinul μm. Dacă în corpul armăturii fixe se practică orificii, se măreşte volumul de aer închis de folie şi astfel se îmbunătățeşte elasticitatea membranei microfonului şi deci sensibilitátea lui.

Membrana fiind foarte subțire, capacitatea electrică este mare, de circa 3 ori mai mare decât capacitatea microfonului elastic. De asemenea, tot de 3 ori scade rezistența internă față de microfonul condensator. Existența câmpului electric în folia de electret face inutilă tensiunea mare de polarizare, necesară microfoanelor condensator.

Microfoanele cu electret de calitate medie au caracteristici de frecvențe cuprinse între 20 şi 20.000 Hz, cu o abatere de ±3 dB. Impedanțele de ieşire uzuale sunt: 50 Ω, 250 Ω, 600 Ω, 1.000 Ω, deci sunt mai bune decât ale celor cu condensator.

Raportul semnal zgomot al microfoanelor cu electret de construcție mai simplă este de 46 - 55 dB, ajungând până la 60 - 65 dB pentru cele mai complicate.

La folosirea acestora trebuie să se țină seama de o serie de particularități. Datorită faptului că sarcina electrică a electretului se micşorează în timp, scade capacitatea electrică şi prin urmare sensibilitatea microfonului.

Cercetările efectuate de specialiştii japonezi arată că perioada de înjumătățire a sarcinii electrice este de 100 -110 ani. Scăderea sensibilității este însă mult mai lentă. O dată cu micşorarea sarcinii înmagazinate în electret scade şi forța de atracție electrostatică între armături, prin urmare vibrațiile membranei vor putea avea amplitudini mai mari. Acest fapt este o compensare a scăderii electrizării electretului. Ținând seama de acest proces de compensare a scăderii sarcinii electrice, sensibilitatea microfonului cu electret rămâne constantă pe o durată de 80-100 ani.

Microfoanele cu electret sunt realizate în diferite tipuri constructive. Dacă se reduce prea mult suprafața membranei, microfonul va fi mai puțin sensibil la frecvențe joase şi asigură o liniaritate bună a caracteristicii de frecvență numai pentru frecvențele mai mari de 100-150 Hz.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste microfoane sunt utilizate la casetofoanele portabile, unde contribuie la eliminarea zgomotelor vibrațiilor datorate vibrațiilor sistemului de antrenare (care sunt în general, în domeniul frecvențelor, mai mici de 100 Hz), din semnalul util.

Microfoanele Hi-Fi (High Fidelity) cu electret au suprafața membranei de 2-5 cm^2, cu o sensibilitate de 0,5-1 mV/μbar (microfoane de bună calitate) sau 0,1-0,2 mV/μbar (pentru microfoane de calitate medie).

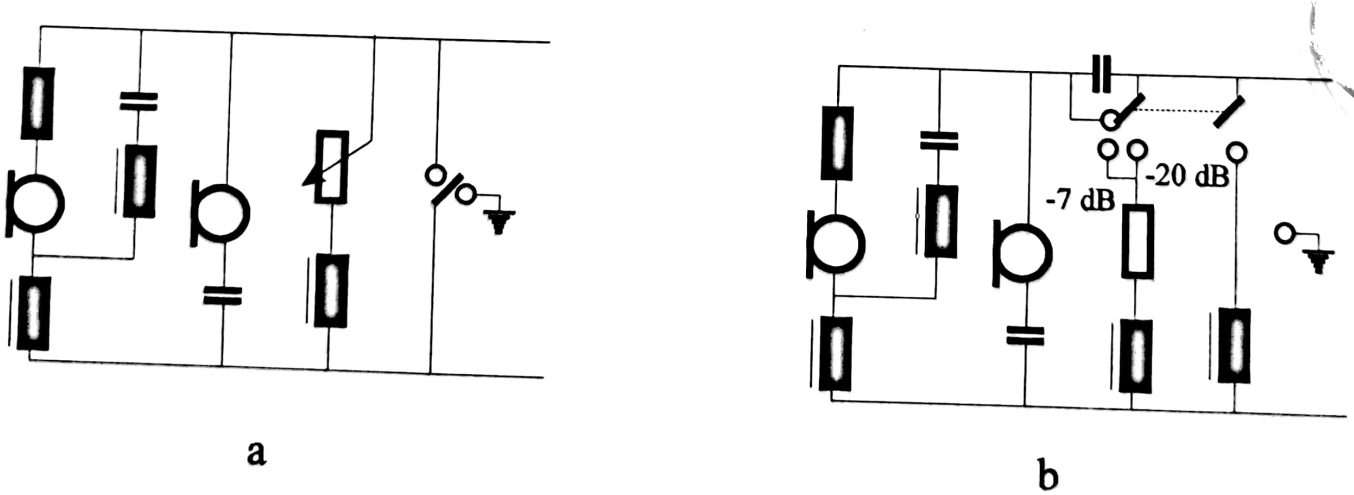
Preamplificatoarele, care se realizează cu tranzistoare cu efect de câmp, în circuite discrete sau integrate, sunt încorporate în microfon.

f. MICROFOANE COMBINATE

În aceeaşi capsulă se pot combina două microfoane diferite, unul de presiune şi unul de viteză. Astfel, la microfonul cu bobină mobilă la care membrana este sensibilă la undele care vin din față (microfon de presiune) se practică o serie de orificii laterale prin care se comunică cu volumul de aer închis, microfonul devenind sensibil şi la viteză.

La un microfon cu bandă, aceasta este împărțită în două, o jumătate este prevăzută cu o cavitate posterioară, închisă, cu aer (microfon de presiune), cealaltă jumătate este accesibilă pentru câmpul acustic pe ambele părți (microfon de viteză). În general, microfoanele combinate acustic se construiesc din microfoane cu bobină şi microfoane cu bandă sensibile la viteză.

Prin comutări electrice între cele două unități distincte (microfon de presiune şi microfon de viteză, care se găsesc în acelaşi corp) sau prin introducerea unor filtre (figura 4.10) se pot obține diverse diagrame de directivitate (cerc, opt, cardioidă). Acest tip de combinare se numeşte combinare electrică.



a b

Figura 4.10. Metode de combinare a microfoanelor.

Scanned with OKEN Scanner

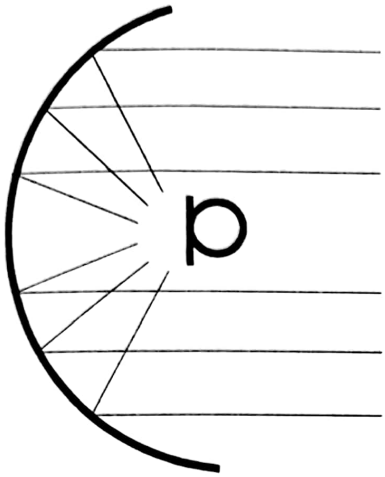


Figura 4.11. Microfon cu reflector.

g. MICROFOANE DIRECTIVE

În unele cazuri, când este dificil să se monteze un microfon la o distanță convenabilă sau când este nevoie să se accentueze o anumită zonă a unei scene sonore, se pot folosi reflectoare parabolice construite din material rigid, în focarul cărora se montează microfonul respectiv (figura 4.11). Ideea construcției unui astfel de microfon a venit de la observarea reflexiilor în cazul suprafețelor concave (vezi capitolul 1). Caracteristica de directivitate a microfoanelor cu reflector depinde de raportul dintre diametrul parabolei şi lungimea de undă [6]. Aceste microfoane sunt cele din categoria superdirective. Creşterea directivității este, de asemenea, asigurată şi de microfoanele de tip „shot-gun", întâlnite în practică mai ales la camerele video. În cea mai simplă formă, aceste microfoane sunt construite dintr-un tub acustic având pe o parte orificii egal distanțate între ele, la capătul căruia este amplasată o capsulă de microfon având caracteristică hipercardioidă (figura 4.12). Obținerea directivității rezultă din faptul că numai undele ce sunt captate pe axa microfonului sunt însumate pe diafragma microfonului, celelalte suferind întârzieri şi defazări, tinzând să se anuleze. La fel ca şi în cazul microfonului parabolic, directivitatea se obține numai în cazul frecvențelor medii şi înalte, deoarece în cazul frecvențelor joase lungimea tubului este foarte mare şi nu se poate construi un astfel de microfon.

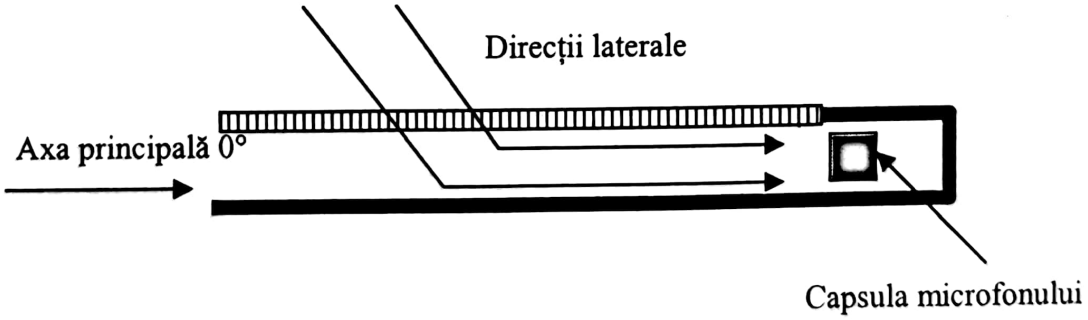


Figura 4.12. Principiul microfonului shot-gun.

În figura 4.13 sunt prezentate microfoanele shot-gun ale firmei Neumann.

Scanned with OKEN Scanner

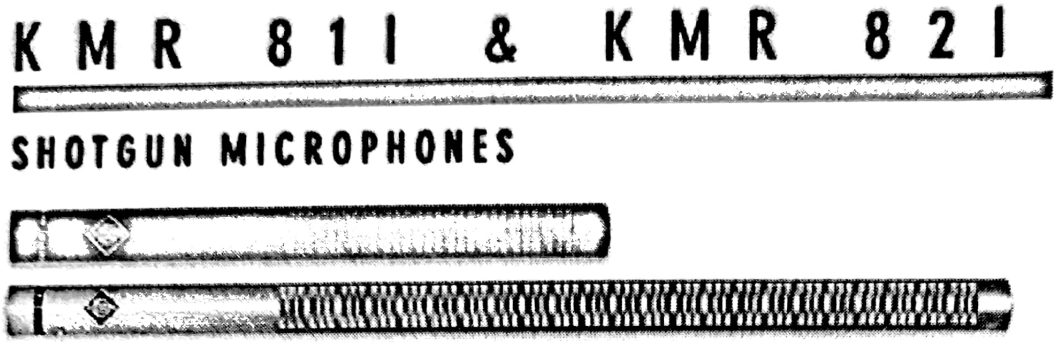


Figura 4.13 Microfoane shot-gun ale firmei Neumann.

h. MICROFOANE DE MARGINE

Acestea sunt cunoscute sub denumirea de microfoane zonale de presiune PZM (Pressure Zone Microphone). Ele nu sunt diferite în ceea ce priveşte tipul traductorului, ci în ceea ce priveşte construcţia şi amplasarea microfonului. Astfel, acesta este format dintr-o mică capsulă (de regulă cu electret) amplasată într-o cavitate de captare foarte aproape (aproximativ 1 mm) de suprafaţa pe care se amplasează întreg sistemul.

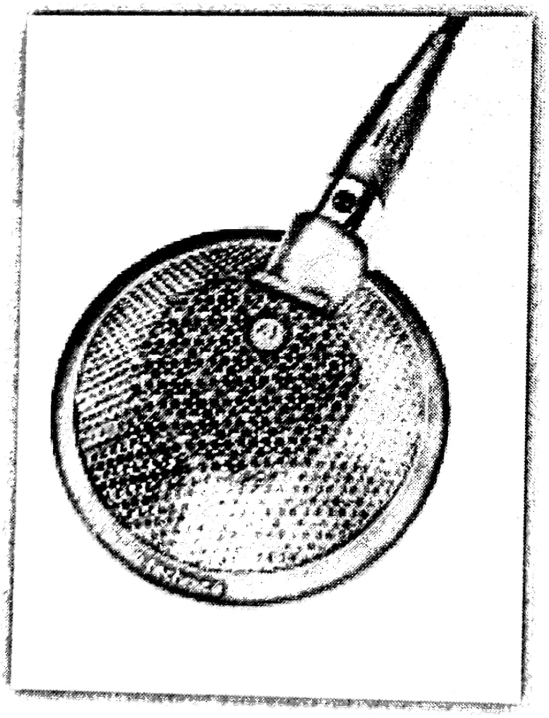


Figura 4.14. Microfon de margine al firmei Neumann.

Principalul câştig al acestui microfon îl constituie eliminarea răspunsurilor neregulate în frecvenţă, ce pot apare ca urmare a interferenţelor dintre undele directe şi cele reflectate şi care pot conduce la apariţia efectelor de tip filtru pieptene.

Un alt avantaj îl constituie creşterea sensibilităţii cu 6 dB datorită caracteristicii de formă semisferică. Acest lucru poate constitui însă şi un dezavantaj, deoarece se realizează şi captarea zgomotelor, precum şi a celorlalte sunete din mediul înconjurător.

În figura 4.14 este prezentat un astfel de microfon construit de firma Neumann.

i. RADIO MICROFOANE

Microfoanele radio utilizează transmisia radio cu modulaţie în frecvenţă în locul

Scanned with OKEN Scanner

transmisiei tradiționale pe cablu. În mod obișnuit, aceste microfoane sunt foarte mici și pot fi aplicate pe reverul hainei sau foarte aproape de gură. Există însă și microfoane de mână care au atașată o antenă.

În versiunea miniatură, transmițătorul este realizat separat, fiind de dimensiunea unui calculator de buzunar, legat de microfon cu un cablu de aproximativ 1 m lungime. Semnalul generat de microfonul propriu-zis modulează o purtătoare radio, frecvența alocată acesteia diferind de la țară la țară. Alocarea acesteia se face atât în domeniul VHF cu lungimi de undă relativ mari, având dezavantajul necesității unei antene lungi (75 cm) sau în domeniul UHF, lungimea antenei de (10 - 20 cm), cu dezavantajul că recepția este perturbată de eventualele obstacole ce apar între antena microfonului și unitatea de repetiție. Principalele domenii de frecvență utilizate sunt: 876 – 880 MHz și 921 – 925 MHz.

În aceste condiții antena de recepție se amplasează în așa fel încât să existe vizibilitate directă cu antena de emisie a microfonului. La fel ca și la sistemele MF radiodifuzate sunt implicate prelucrări ale semnalelor (accentuări, dezaccentuări, limitări, compresii, expandări etc.), astfel încât să se obțină un semnal cât mai bun.

j. MICROFOANE STEREOFONICE

Microfonul stereofonic este în realitate un cuplu de două microfoane de același tip (dinamic sau condensator), care sunt asamblate în diferite moduri în funcție de procedeul stereofonic la care se folosește și care constituie un sistem de microfoane.

(1) Capul artificial

Plecând de la analiza modului în care omul percepe sunetul stereofonic s-a imaginat primul sistem de microfoane stereofonice denumit cap artificial sau cap fonic, care este o reproducere a capului unui ascultător.

Sistemul se aplică cu rezultate bune în cele mai multe situații la înregistrările muzicale și de teatru, mai ales în cazurile în care se impune ameliorarea condițiilor acustice ale sălilor respective și evitarea anumitor zgomote neplăcute. De asemenea, acest sistem se utilizează într-o serie de măsurători și determinări acustice, cum sunt: investigarea deficiențelor de auz, măsurarea inteligibilității vorbirii în diferite poziții de ascultare etc. În captările stereofonice de intensitate, când condiția principală ce trebuie îndeplinită este ca cele două microfoane care compun sistemul stereofonic să fie amplasate în același punct, s-au adoptat două soluții de bază corespunzătoare celor două tipuri de microfoane care se folosesc cel mai mult, microfoanele dinamice și condensator. Un exemplu de astfel de microfon este prezentat în figura 4.15.

Scanned with OKEN Scanner

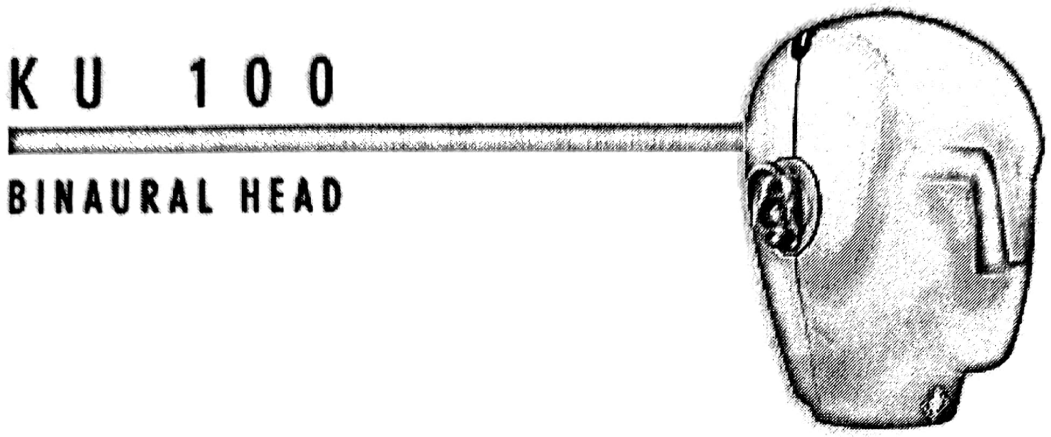


Figura 4.15. Microfonul de tip cap artificial al firmei Neumann.

(2) MICROFOANE DINAMICE

Deoarece microfoanele dinamice au ajuns la dimensiuni destul de mici, care nu mai perturbă simțitor câmpul sonor original, iar construcția lor nu permite reglarea caracteristicilor de directivitate, pentru sistemul cu microfoane stereofonice s-a adoptat, în majoritatea cazurilor, soluția de montare pe un stativ prin intermediul unui dispozitiv care să permită reglarea şi orientarea conform cerințelor amplasamentului.

Datorită problemelor constructive şi a greutăților ce apar în exploatare, firmele nu au fabricat microfoane dinamice stereofonice în construcție monobloc (montate în aceeaşi carcasă).

(3) MICROFOANE CONDENSATOR

Într-un corp (carcasă) comun sunt montate două microfoane condensator (capsulă şi amplificator), corespunzătoare celor două canale stereofonice. Corpul este divizat mecanic în două părți, partea superioară având sens de rotație diferit față de cea de jos, în scopul reglării unghiului dintre cele două caracteristici de directivitate.

Fiecare jumătate conține o capsulă condensator cu dublă diafragmă, iar în corpul microfonului, care se constituie în acelaşi timp şi în mâner, sunt conținute cele două preamplificatoare cu impedanță de intrare mare şi conectate la mufa de ieşire prin intermediul unor atenuatoare reglabile.

Există microfoane care au capsule cu caracteristici de directivitate fixe, stabilite din construcție şi microfoane la care caracteristicile de directivitate se pot comuta în funcție de procedeul de captare ales.

Perechile coincidente pot fi microfoane separate (dinamice) sau în ansamblu (condensator), un element important fiind acela de aliniere atât a axelor, cât şi a

Scanned with OKEN Scanner

nivelurilor de ieşire, deoarece, în caz contrar, informaţia poziţională redată va fi deformată.

k. MICROFONUL SURROUND

Microfonul cuadrofonic are în compunere patru capsule condensator cu caracteristică de tip cardioid, care sunt dispuse în două perechi, una deasupra celeilalte, fiecare având amplificator propriu. Perechea superioară se roteşte în sens invers celei inferioare, rezultatul fiind o diagramă de directivitate cu patru cardioide orientate în cele patru direcţii principale de captare a sunetului (frunză de trifoi). Aşa cum am precizat, acest tip de microfon a fost înlocuit de microfonul firmei Ambisonics (figura 3.14).

4.4. TEHNICI SPECIFICE UTILIZĂRII MICROFOANELOR

Metodele practice de captare a sunetelor, contrar opiniei generale, nu sunt asociate cu utilizarea unor microfoane speciale sau a unor tehnici „magice" la înregistrare, ci se bazează pe tehnici generale la care contribuie cunoştinţele şi experienţa acumulată de inginerul de sunet.

La baza procedeelor folosite pentru captarea stereofonică stau: diferenţa de timp şi diferenţa de intensitate sonoră, aşa cum am arătat în Capitolul 3. După cum ştim, percepţia sunetului se bazează pe diferenţa de timp şi de intensitate, de aceea în situaţiile reale există două posibilităţi:

- captarea sunetului produs de aceeaşi sursă de către microfoane amplasate în puncte diferite în spaţiu, metodă care se bazează atât pe diferenţa de intensitate, cât şi pe diferenţa de timp. În acest caz procedeul de captare se numeşte „procedeu bazat pe relaţii de timp şi intensitate" sau procedeul AB, iar în funcţie de distanţa la care sunt amplasate cele două puncte de captare distingem: procedeul apropiat, când distanţa este de 10-25 cm, şi procedeul îndepărtat, atunci când distanţa este cuprinsă între 3 şi 6 m;
- captarea sunetului produs de două surse identice, distribuite în spaţiu, în acelaşi punct al scenei sonore, metodă ce se bazează pe diferenţa de intensitate sonoră. Procedeul de captare este denumit „procedeu bazat pe relaţii de intensitate" pentru captare utilizându-se microfoane de coincidenţă sau stereofonice. În funcţie de caracteristicile celor două microfoane ce intră în componenţa microfonului stereofonic există două variante: procedeul XY sau simetric, atunci când caracteristicile de directivitate ale microfoanelor sunt identice, şi procedeul MS sau asimetric, când caracteristicile de directivitate ale celor două microfoane sunt diferite.

Scanned with OKEN Scanner

4.4.1. PROCEDEUL BAZAT PE RELAȚII DE TIMP ŞI INTENSITATE AB

Procedeul se bazează pe apariția decalajului de timp şi intensitate ce apare între cele două semnale captate de la o sursă. Obținerea semnalului stereofonic este condiționată de utilizarea a două microfoane având caracteristici identice cu amplasarea în spațiul ce constituie scena sonoră şi conectarea la canale identice. Microfoanele folosite sunt de obicei cele ce au caracteristică de tip cardioidă şi mai rar cele cu caracteristică omnidirecțională sau bidirecțională.

În situația în care poziția microfoanelor este apropiată sunt importante atât diferențele de intensitate cât şi cele de timp, constatându-se că la mărirea distanței dintre acestea devine preponderentă diferența de timp. De regulă, amplasarea celor două microfoane se face în aşa fel încât între axele lor să existe un unghi cuprins între 0 şi 120° (figura 4.16). În funcție de tipurile de microfoane utilizate în cazul procedeului de captare AB se întâlnesc următoarele procedee: procedeul AB apropiat fără corp difractant, procedeul AB cu panouri difractante sau cap artificial şi procedeul AB îndepărtat.

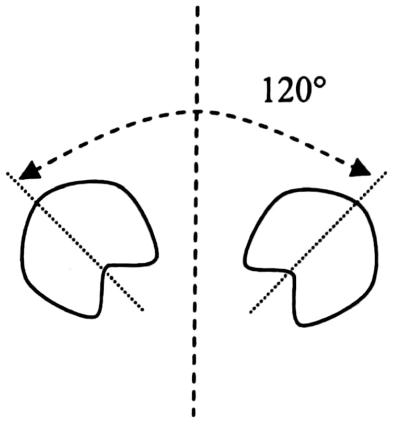


Figura 4.16. Amplasarea microfoanelor pentru procedeul AB.

a. PROCEDEUL AB APROPIAT FĂRĂ CORP DIFRACTANT

Deoarece în cazul audiției binaurale prezența capului este foarte importantă, utilizarea de microfoane cu caracteristici de directivitate potrivite şi crearea de diferențe de intensitate şi dezechilibre spectrale adecvate conduce la asigurarea unei audiții corespunzătoare celei directe. Întrucât, între sursele aflate la extremitățile laterale ale scenei sonore prin captare nu se percepe o diferență de intensitate, pentru acest procedeu asigurarea compatibilității cu sistemul monofonic nu este posibilă prin utilizarea semnalului A+B deoarece apar, în special în domeniul frecvențelor înalte, distorsiuni supărătoare pentru ureche. Din acest motiv, ca semnal compatibil trebuie utilizat unul dintre semnale (A sau B), iar la captare trebuie avut grijă să se elimine efectul diferențelor de intensitate.

Scanned with OKEN Scanner

În concluzie, putem spune că în cazul procedeului AB fără corp difractant se neglijează intenţionat diferenţele de intensitate în detrimentul diferenţelor de timp, motiv pentru care acesta se poate utiliza cu rezultate bune numai în stereofonie, neputând fi utilizat pentru captările stereofonice compatibile.

b. PROCEDEUL AB CU PANOURI DIFRACTANTE SAU CAP ARTIFICIAL

Acest procedeu de captare încercă prin prezenţa panourilor difractante sau a capului artificial să reproducă cât mai fidel condiţiile reale de recepţie umană. Metoda permite captarea unui semnal stereo care asigură relieful sonor şi impresia corectă a realităţii prin reproducerea corectă atât a relaţiilor de timp, cât şi a celor de intensitate între sursele sonore.

Deoarece:

- proprietăţile directive ale urechii în funcţie de frecvenţa şi nivelul de audiţie nu sunt încă suficient cunoscute;
- determinarea curbei de răspuns optim a microfoanelor, pentru satisfacerea compatibilităţii, este forte dificilă şi se realizează empiric (prin încercări);
- caracteristicile de directivitate ale microfoanelor nu corespund întotdeauna cerinţelor de realizare a compatibilităţii semnalului;
- este destul de dificil de realizat o captare stereofonică compatibilă. Cu toate acestea, rezultatele obţinute în asigurarea compromisului dintre obţinerea unui semnal stereofonic care redă cât mai fidel realitatea şi unul care asigură compatibilitatea au condus la dezvoltarea acestor tipuri de microfoane. Un exemplu de astfel de microfon este cel realizat de firmă şi este prezentat în figura 4.15. Dacă se utilizează panouri difractante, schema de amplasare a microfoanelor ar putea fi cea din figura 4.17.

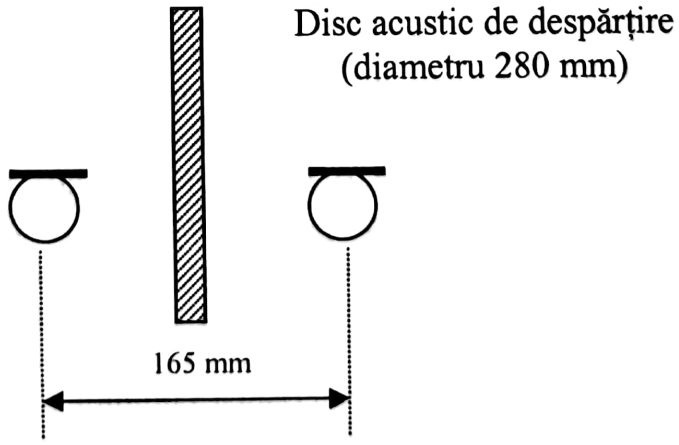


Figura 4.17. Schema de amplasare a microfoanelor pentru procedeu AB cu corp difractant.

Scanned with OKEN Scanner

c. PROCEDEUL AB ÎNDEPĂRTAT

Procedeul se bazează pe utilizarea a două microfoane, în general cu o caracteristică de directivitate de tip cardioidă, amplasate divergent pe o axă perpendiculară pe axa de captare la o distanță cuprinsă între 3 şi 6 m. În acest caz există pericolul apariției efectului de gol în centrul imaginii. Aceasta se datorează faptului că prin mărirea distanței dintre microfoane devin preponderente diferențele de timp în captarea sunetului. Astfel, există posibilitatea ca deplasarea unei surse sonore să nu fie percepută şi la recepție ea continuând să fie auzită în difuzorul din stânga. Dacă presupunem că deplasarea sursei de semnal sonor este rapidă, există posibilitatea ca aceasta să fie percepută direct în difuzorul din dreapta, localizarea fiind din acest motiv într-una din direcții şi mai rar în spațiul dintre acestea. În acest mod se realizează o concentrare a imaginii surselor sonore spre extremități.

Datorită efectului de concentrare laterală, procedeul AB îndepărtat nu se întrebuințează fără corecție centrală, care constă în folosirea unui microfon central ce realizează centrarea prin procedee de intensitate (centrare prin panoramare) sau a unui microfon central de coincidență care foloseşte efectul de intensitate (XY). Microfoanele principale A şi B trebuie să aibă în acest caz caracteristici de directivitate variabile.

În concluzie, se poate spune că captarea prin procedee bazate pe relații de timp şi intensitate este adecvată obținerii semnalelor stereofonice necompatibile. De asemenea, este de precizat faptul că aceste procedee au o sensibilitate ridicată la distanța față de scena captată. Astfel, la distanțe mici captarea este precisă, dar zona captată este mică iar la creşterea distanței scade claritatea imaginii sonore. Lărgirea zonei captate presupune mărirea unghiului format de axele celor două microfoane cu apariția efectului de împrăştiere laterală şi a golului de mijloc.

d. PROCEDEE DE PANORAMARE A SUNETELOR

Deoarece, aşa cum am văzut la captarea stereofonică a sunetului, pot apare deficiențe privind uniformitatea repartizării surselor reale, golul de mijloc, deplasarea unei surse aflate în mişcare, a fost necesară introducerea unuia sau a mai multor microfoane, aşa spuse de panoramare, pentru remedierea acestora.

Acest microfon ajutător este utilizat pentru marea majoritate a procedeelor de captare stereofonică, dar în special pentru procedeele AB îndepărtate. Schema de conectare a acestuia este prezentată în figura 4.18. Caracteristica microfonului se alege în funcție de fenomenul pe care dorim să-l remediem, iar în cazul în care scopul nu este definit precis, se alege la fel cu caracteristica cuplului de microfoane utilizate pentru captarea stereo. Legea de variație a nivelului pe cele două canale este prezentată în figura 6.8.

Scanned with OKEN Scanner

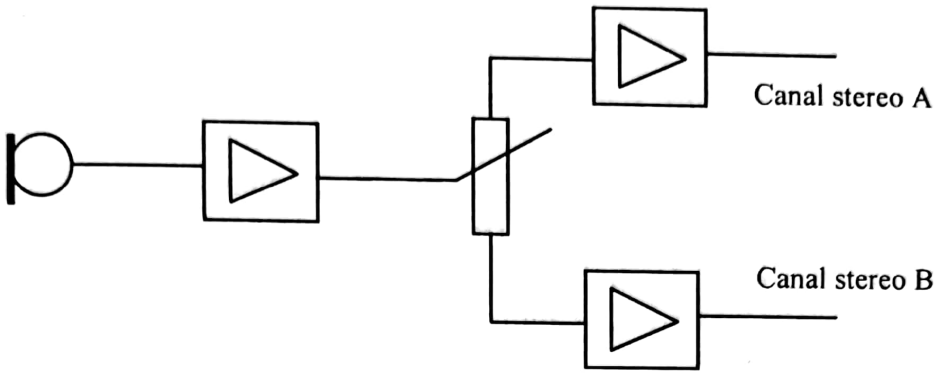


Figura 4.18. Procedeul de panoramare al sunetelor la captarea stereofonică.

Dacă se doreşte o individualizare şi o localizare precisă a mai multor surse de semnal în imaginea redată, atunci este utilizată schema de panoramare din figura 4.19. În acest caz repartizarea semnalelor monofonice se face în proporţii variabile prin atenuare specială de amestec. Acest procedeu de panoramare nu este utilizat ca procedeu de sine stătător deoarece dă imagini prea concentrate, între care apar goluri ce trebuie umplute prin alt procedeu de captare, fiind întrebuinţat doar ca procedeu ajutător pentru localizarea mai precisă a unor surse sonore la captarea diferitelor genuri de muzică.

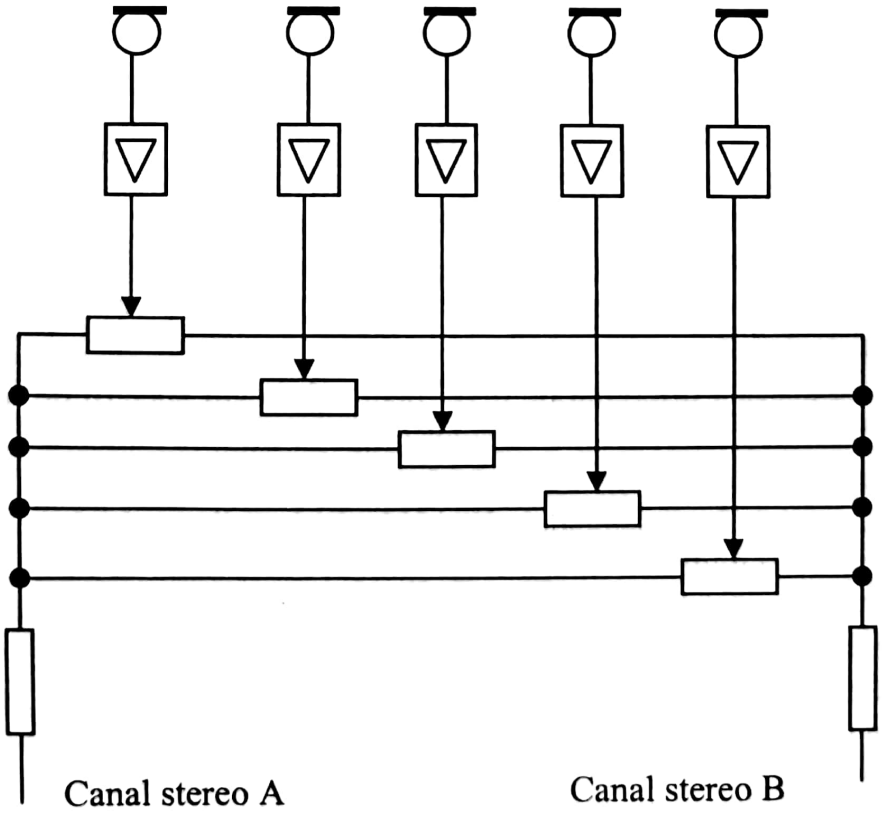


Figura 4.19. Schema de panoramare în cazul mai multor surse sonore.

Scanned with OKEN Scanner

4.4.2. PROCEDEE BAZATE PE RELAȚII DE INTENSITATE

Obținerea compatibilității pentru semnalul sumă a condus la căutarea de procedee de captare stereofonică în care principalul element să fie diferența de intensitate. Soluția a reprezentat-o utilizarea a două microfoane pe aceeași axă verticală și foarte aproape unul de celalalt (microfoane de coincidență). Așa cum am precizat, după caracteristicile de directivitate ale microfoanelor și utilizarea lor se disting în mod curent două procedee, și anume simetric (XY) și asimetric (MS).

a. PROCEDEUL XY CARDIOID

Realizarea unei captări stereofonice în cazul acestui procedeu presupune utilizarea a două microfoane având caracteristica cardioidă și orientate în așa fel încât axele lor să facă un unghi de 90° între ele și de 45° față de axa de simetrie (figura 4.20). Procedeul obține rezultate bune în condițiile în care este utilizat în săli având reverberație mare, deoarece sunt eliminate sunetele reflectate din sală, care ajung la microfon în partea inactivă.

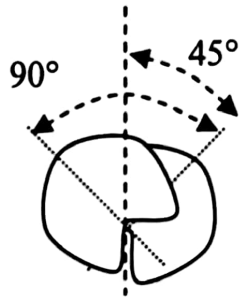


Figura 4.20. Procedeul de captare XY cardioid la 90°.

Compatibilitatea cu semnalul monofonic este asigurată de semnalul X+Y și prezintă următoarele dezavantaje:

- sursele laterale au aceeași diferență de nivel pentru întregul spectru de frecvențe, ceea ce introduce erori în localizarea surselor (situația nu este similară cu cea din cazul audiției binaurale normale);
- diferențele de intensitate între semnalele X și Y la deplasările unghiulare ale sursei se traduc prin deplasări mult mai mici ale imaginii acesteia datorită variației mici a intensității sunetelor captate;
- imaginea scenei sonore captate are contururile laterale șterse.

Procedeul permite utilizarea mai multor microfoane de coincidență, fiind cel mai des folosit pentru captarea muzicii ușoare. În cazul în care dimensiunea scenei captate este mai mare se poate mări unghiul dintre microfoane deoarece în cazul acestui tip de captare scena sonoră captată trebuie să se găsească între axele caracteristicilor de directivitate ale microfoanelor.

Scanned with OKEN Scanner

O altă posibilitate de captare simetrică este utilizarea de două microfoane având caracteristici de directivitate de tip cardioidă, dar unghiul dintre axe este 180° (figura 4.21).

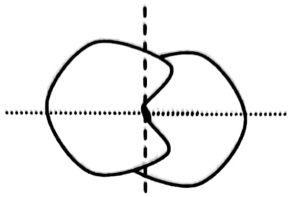


Figura 4.21. Procedeul de captare XY cardioid la 180°.

b. PROCEDEUL XY STEREOSONIC

Şi în cazul acestui procedeu de captare cele două microfoane de coincidență sunt identice, dar caracteristicile sunt bidirecționale. Unghiul dintre axele orientărilor este de 90°, dar poate fi mărit până la 135° (figura 4.22). Compatibilitatea este asigurată de semnalul X+Y, întrucât se utilizează relațiile de intensitate între semnalele captate. Spre deosebire de procedeul cardioid, imaginea sursei sonore are o localizare mai aproape de cea reală, dar are următoarele dezavantaje:

- Nu este posibilă utilizarea în săli cu reverberație mare, deoarece caracteristica bidirecțională face posibilă captarea reverberației sălii.
- Este necesară evitarea apariției de imagini sonore false în cazul utilizării mai multor microfoane de coincidență.

Ca şi observație putem aminti că mărirea unghiului dintre axele celor două difuzoare poate fi realizată în condițiile în care cei doi lobi ai caracteristicii nu sunt egali.

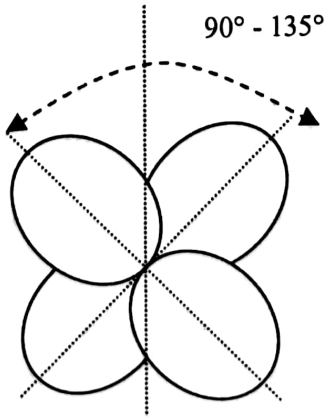


Figura 4.22. Procedeul de captare XY stereosonic

Scanned with OKEN Scanner

c. PROCEDUL DE CAPTARE MS

Numele acestui procedeu de captare derivă din prescurtarea din limba germană Mitte-Seite, care se traduce prin centru lateral. În acest caz se impune utilizarea a două microfoane având caracteristici de directivitate în general diferite (figura 4.23). Din acest motiv se mai numeşte şi asimetric.

Întrucât canalele stereo sunt identice, pentru transmisie semnalele sunt convertite în semnale simetrice X şi Y (M+S şi respectiv M-S).

Din punct de vedere al compatibilității, aceasta este asigurată de semnalul M (dat de microfonul cardioid), deoarece se poate considera că acesta este un microfon normal în captare monofonică, semnalul S (dat de microfonul bidirecțional) asigurând informația stereofonică.

Deoarece acest procedeu conduce la o insuficientă delimitare a contururilor laterale ale imaginilor surselor, cu tendința de creştere nejustificată a semnalului S şi influențe negative asupra redării frecvențelor înalte (se ajunge la limita de opoziție de fază şi apariția unei sonorități aspre), el este din ce în ce mai puțin utilizat.

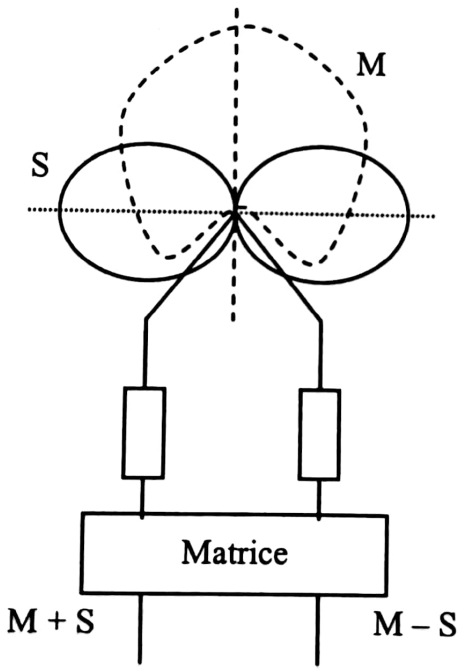


Figura 4.23 Procedeul de captare MS

d. ECHIVALENȚA DINTRE PROCEDEELE DE CAPTARE STEREOFONICĂ

Procedeele de captare stereofonice cu microfoane coincidente sunt echivalente, semnalele XY putându-se transforma în semnale MS şi invers. De aceea se poate realiza o corespondența între sisteme în ceea ce priveşte caracteristicile de directivitate ale microfoanelor.

Scanned with OKEN Scanner

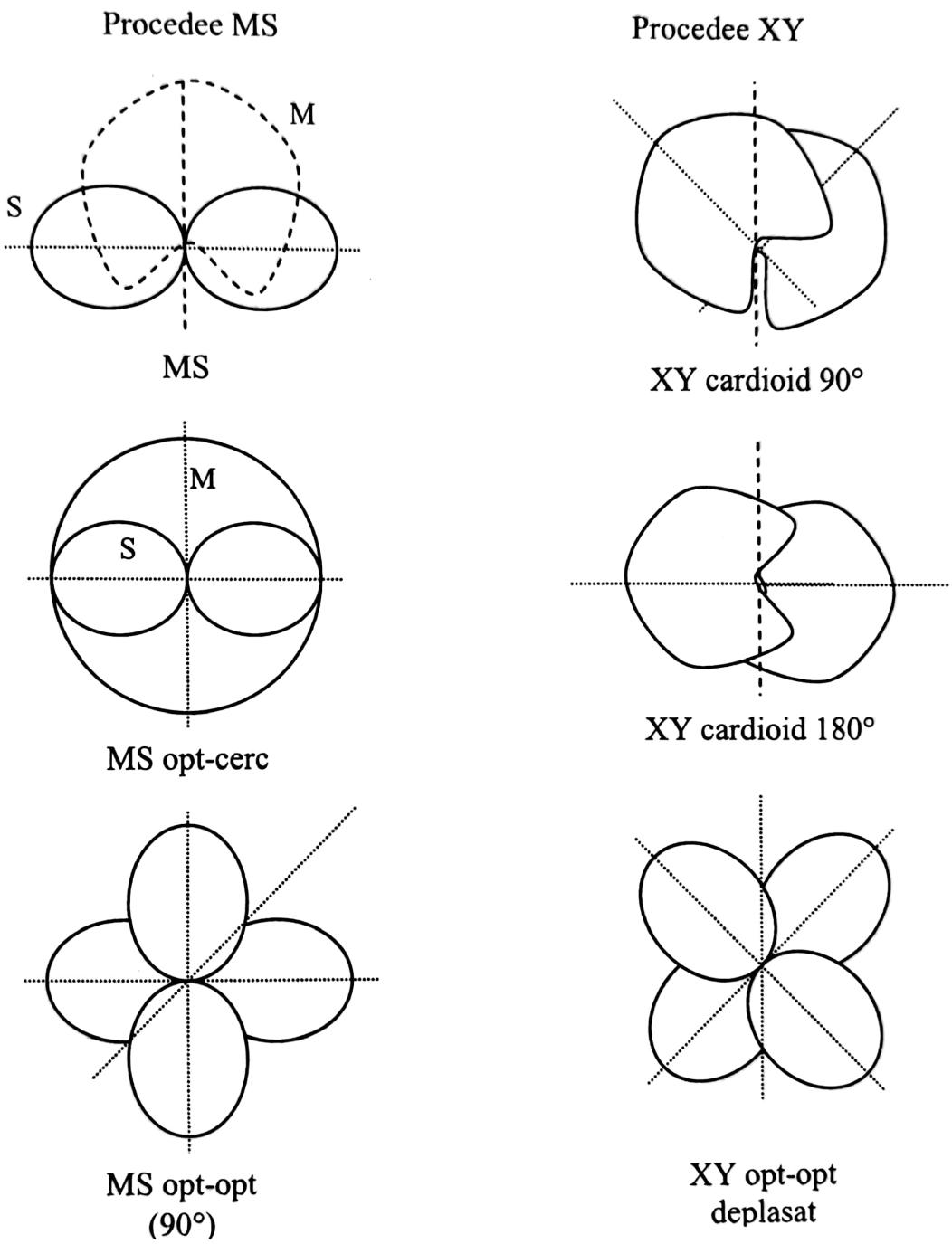


Figura 4.24. Corespondența dintre caracteristicile de directivitate ale microfoanelor pentru procedeele de captare MS şi XY.

Figura 4.24 prezintă corespondența între caracteristicile de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în procedeele de captare XY şi MS. Aceste relații de echivalență pot fi concretizate prin următoarele relații matematice:

Scanned with OKEN Scanner

$$M + S = qX,\ X + Y = pM$$
$$M - S = qY,\ X - Y = pS, \qquad (4.3)$$

coeficienţii p şi q apar datorită diferenţelor în intensitate în cazul celor două procedee.

Transformarea semnalelor se poate realiza fie cu ajutorul unei punţi rezistive (figura 4.24), fie cu ajutorul transformatoarelor (figura 4.25). În practică este folosit însă dispozitivul cu transformator, deoarece pe de o parte nu introduce atenuări suplimentare în lanţul electroacustic, iar pe de altă parte poate fi utilizat ca element intermediar între circuitele simetrice şi cele asimetrice.

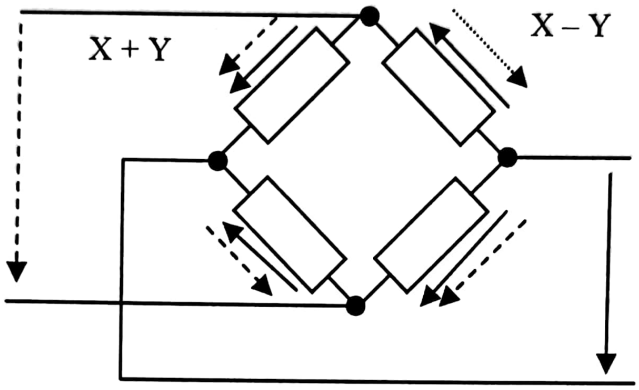


Figura 4.25. Transformarea semnalelor între cele două procedee de captare stereofonică de coincidenţă cu ajutorul punţii rezistive.

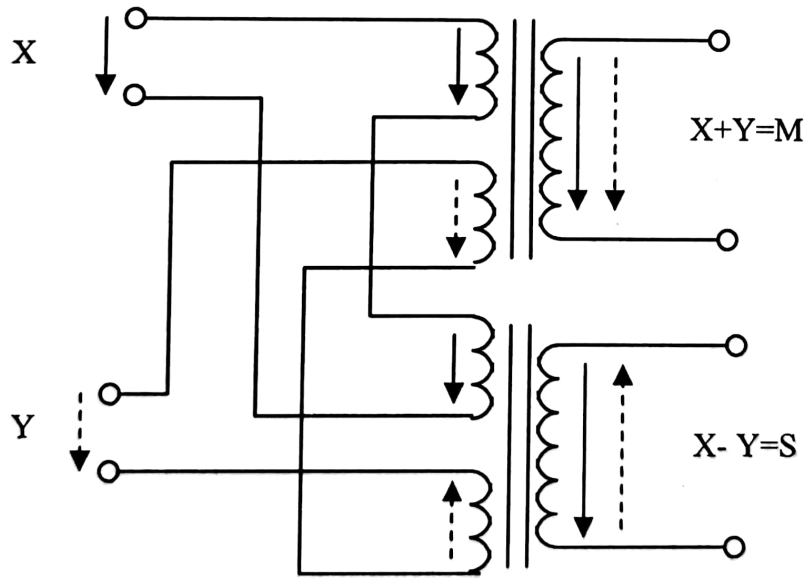


Figura 4.26. Transformarea semnalelor între cele două procedee de captare stereofonică de coincidenţă cu ajutorul transformatoarelor.

Întrucât influenţa asupra rapoartelor dintre cele două semnale ale unui procedeu nu este identică, modificarea raportului între semnalele X şi Y conduce la modificarea direcţiei sursei, iar modificarea raportului între semnalele M şi S conduce la

Scanned with OKEN Scanner

modificarea lărgimii bazei imaginii scenei sonore. Pentru eliminarea acestor neajunsuri a fost realizat un dispozitiv care poate compensa eventualele modificări datorate schimbării rapoartelor între semnale (figura 4.26) cu ajutorul unor elemente reglabile.

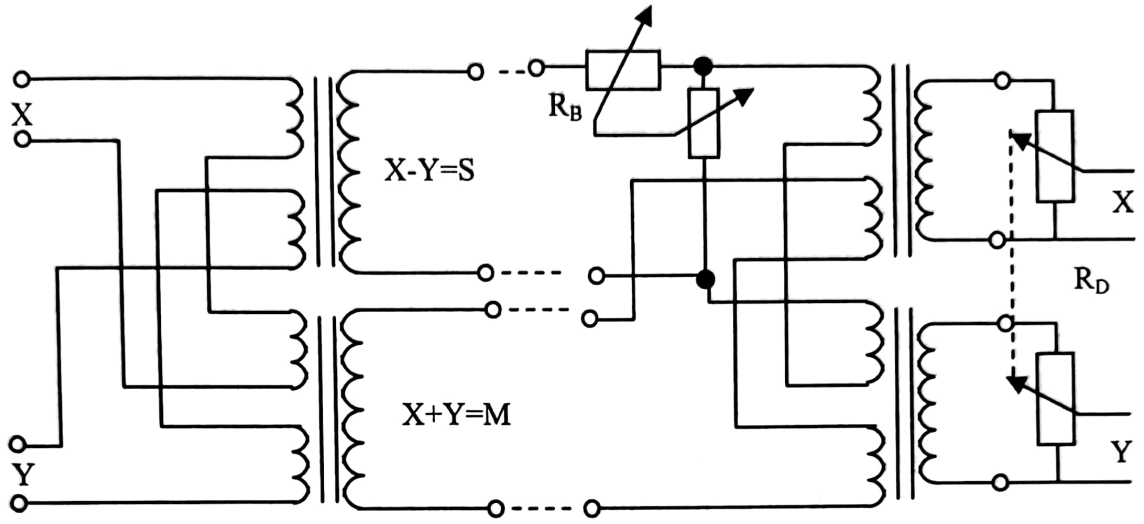


Figura 4.27. Dispozitiv pentru reglarea direcției și a fazei.

Pentru dimensionarea elementului de reglare a direcției R_D se ține cont de rezultatele măsurătorilor lui De Boeur [4], care a stabilit ca valoare maximă pentru unghiul de deviație a sursei sonore aparente față de axa difuzoarelor, valoarea de 27°. În aceste condiții, întrucât pragul de sensibilitate al urechii umane la deviații unghiulare ale sursei de sunet este de 3°- 4°, numărul pozițiilor de reglaj pentru R_D este de 8. Potențiometrul pentru reglarea dimensiunii bazei R_B a fost ales tot pe baza măsurătorilor lui De Boeur, în așa fel încât să asigure o variație a raportului între semnalele X și Y de 14 dB, pentru această valoare stabilindu-se faptul că imaginea sonoră poate fi percepută total în dreapta sau stânga.

4.4.3. SOLUȚII PRACTICE DE CAPTARE

Tehnicile de amplasare a microfoanelor țin mai mult de artă decât de tehnică, neexistând un algoritm fix pentru poziționarea microfoanelor în așa fel încât să se obțină cel mai bun rezultat. Această tehnică este subiectivă și depinde foarte mult de inginerul de sunet. Cu toate acestea există anumite reguli ce trebuie respectate, dar care pot fi de asemenea îmbunătățite și corectate. În cele ce urmează vom încerca să prezentăm câteva sugestii generale și particulare pentru realizarea unei captări eficiente și corecte a surselor sonore.

Asupra calității reproducerii sunetului o influență importantă o poate avea poziția microfonului, de ea depinzând în primă instanță efectul dorit. O apropiere prea

Scanned with OKEN Scanner

mare a microfonului produce o accentuare a sursei sonore şi atenuarea efectului mediului înconjurător, în timp ce mărirea distanţei faţă de aceasta creează senzaţia de sunet mai amplu, iar influenţa caracteristicilor mediului înconjurător este mai evidentă. De asemenea, apropierea faţă de microfon reclamă utilizarea unui egalizor pentru diferite corecţii ale sunetului. În cazul în care acustica încăperii nu este potrivită cu necesităţile de reproducere a sunetului, o depărtare faţă de microfon poate conduce la un semnal neplăcut sau neinteligibil. Datorită acestor influenţe este necesară o alegere corectă a distanţei microfonului faţă de sursă, alegere care depinde de inginerul de sunet.

Înregistrările moderne reclamă utilizarea a mai multor microfoane, în acest caz amplasarea acestora devine complicată întrucât există posibilitatea captării şi a unor sunete parazite provenind de la surse ce nu se doresc a fi captate cu acel microfon. În aceste condiţii trebuie ţinut seama de caracteristicile direcţionale ale instrumentelor, care pot varia de la notă la notă, precum şi de sunetele ce pot apărea de la instrumente vecine.

O altă problemă ce poate apărea este aceea a diferenţei de timp şi fază în cazul recepţiei unei surse de mai multe microfoane. În acest caz cel mai important efect este modificarea răspunsului în frecvenţă, a prezenţei (tăriei sursei) şi claritătii înregistrării sau redării. Rezultatul poate conduce la efectul de filtrare pieptene (figura 1.10), care duce la reducerea intensităţii sursei şi a distorsionării poziţiei acesteia, precum şi la modificarea raportului natural între diferitele tonuri sau armonici. În cazuri extreme, anumite tonuri pot fi atenuate sau chiar eliminate. În practică, multe din aceste efecte sunt mascate prin contribuţia acusticii camerelor de înregistrare (reflexii), precum şi a directivităţii neuniforme intrinseci instrumentelor.

De asemenea, este de remarcat că obţinerea unei bune înregistrări depinde într-o foarte mare măsură şi de muzicieni, deoarece aceştia pot modela sunetul aşa cum doresc cei cărora le este adresat. În cazul unei formaţii neexperimentate, obţinerea de rezultate nesatisfacătoare la înregistrare este trecută asupra inginerului de sunet, fără a ţine cont de faptul că soliştii nu au experienţa necesară unei înregistrări profesionale.

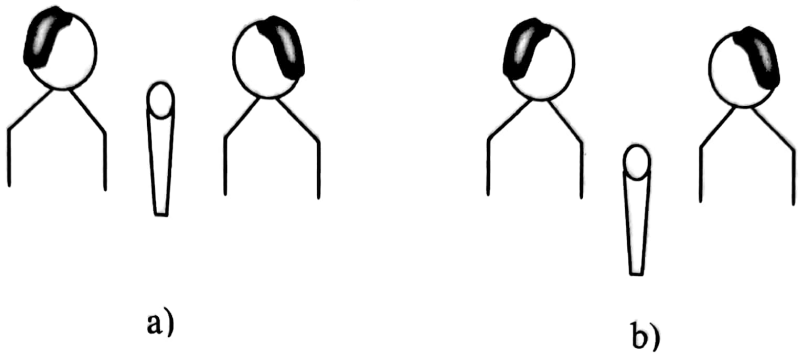
a. INTERVIUL

În general, pentru interviu la alegerea microfonului survine de cele mai multe ori tipul de program căruia îi este adresat. Astfel, pentru televiziune, unde atenţia asupra imaginii distrage atenţia asupra calităţii sunetului, este acceptabil un sunet clar (inteligibil), pe când în radio este importantă şi calitatea acestuia. Microfoanele cele mai utilizate în acest caz sunt cele cu caracteristica de directivitate omnidirecţională şi supercardioidă.

Microfonul pentru captare este poziţionat între interviator şi intervievat la nivelul pieptului sau gâtului (figura 4.27). În aceste condiţii este de dorit utilizarea unui microfon cardioid sau supercardiod, iar poziţia celor doi vorbitori trebuie să

Scanned with OKEN Scanner

corespundă unghiului de acceptare pentru microfon, putându-se ajusta pe durata interviului.



a) b)

Figura 4.28. Poziția microfonului în cazul interviului.

Pentru microfoane omnidirecționale este necesară mutarea microfonului de la un vorbitor la altul, distanța față de acesta fiind dependentă de acustica spațiului şi de zgomotul nedorit ce se poate capta (figura 4.28).

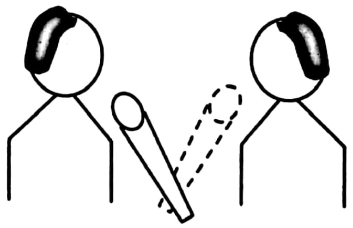


Figura 4.29. Mutarea microfonului de la un vorbitor la altul.

Pentru interviuri în studiouri, datorită cerințelor impuse de imagine, există foarte mari diferențe între înregistrările radio şi cele TV. În cazul emisiunilor radio se foloseşte câte un microfon (cu caracteristica de directivitate de tip cardioidă) pentru fiecare invitat sau un singur microfon suspendat deasupra grupului, în cazul înregistrărilor monofonice. În cel de-al doilea caz, se obține un sunet având mai multe reverberații.

Pentru studiourile de radio, poziția microfoanelor este în mod normal statică, iar în studiourile de televiziune poziția este determinată de scena şi iluminarea acesteia. De asemenea, microfonul nu trebuie să apară în imagine, iar vorbitorul trebuie să se mişte liber.

Pentru studiourile de televiziune, o tehnică modernă o constituie utilizarea microfonului lavalieră, care este un microfon condensator având o caracteristică de directivitate, de cele mai multe ori omnidirecțională.

b. CONFERENȚIARUL

Pentru un vorbitor este necesară utilizarea a două microfoane. Aceasta este măsură redundantă deoarece, pentru a evita apariția de anulare a fazei, doar unul din

Scanned with OKEN Scanner

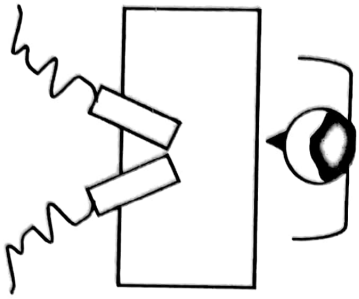
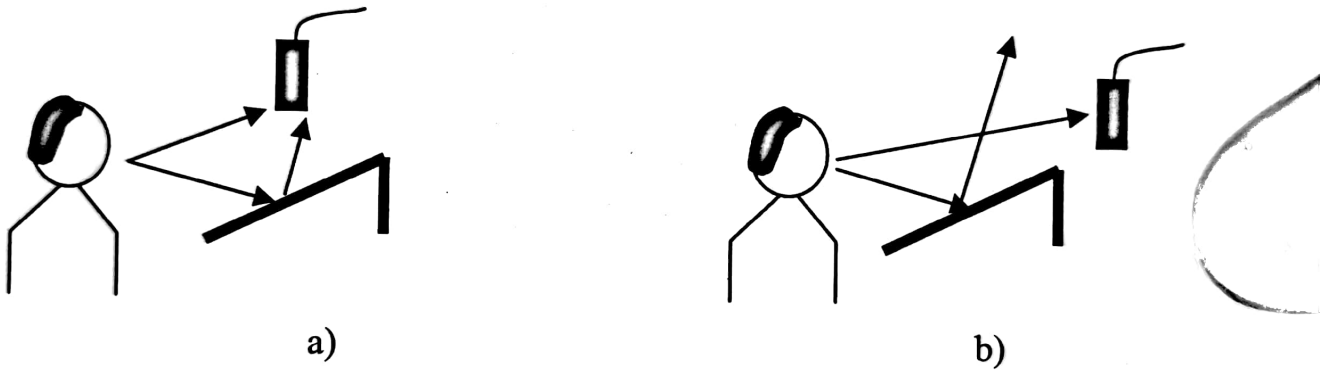


Figura 4.30. Amplasarea microfoanelor în cazul conferinței de presă.

cele două microfoane este activ. Cel mai bun aranjament pentru microfoane este cel în care cele două microfoane sunt puse cât mai aproape unul de altul şi sub un anumit unghi (figura 4.29). În acest caz se evită posibilitatea apariției anulării fazei în cazul însumării celor două semnale obținute. În cazul transmisiilor radio stereo, pentru crainic se utilizează un singur microfon, iar vocea acestuia este amplasată în centrul imaginii. De asemenea, trebuie avut grijă să nu existe reflexii de pe suportul pentru hârtii spre microfon, întrucât acestea pot produce efecte deranjante asupra calității sunetului (figura 4.30) [5].



a) b)

Figura 4.31. Amplasarea microfonului în cazul crainicului radio sau conferențiarului: a) amplasare incorectă; b) amplasare corectă.

c. SOLISTUL VOCAL

Înregistrarea sau redarea unui solist vocal se poate realiza în condiții stereofonice, dar uzual este utilizat procedeul monofonic, deoarece acesta (solistul) reprezintă o sursă punctiformă cu o foarte mică informație de direcție. În condițiile unui mediu înconjurător cu calități acustice superioare, cum ar fi o sală de concerte, se poate utiliza şi reverberația naturală în combinație cu sunetul normal. Astfel se poate adăuga sunetului vocal adâncime şi deschidere. În studiouri, cel mai utilizat este microfonul de tip condensator, plasat foarte aproape de gură (distanța maximă fiind apreciată la 0,6 m). Din acest motiv trebuie utilizate filtre pentru a preveni sunetele explozive produse la pronunțarea sunetelor ce conțin consoane, cum ar fi p, t, k etc. Este foarte important în acest caz să se țină cont de faptul că nivelul sonor este invers proporțional cu distanța față de microfon, ceea ce înseamnă că depărtarea microfonului la o distanță dublă conduce la scăderea nivelului la o pătrime. Soliştii experimentați folosesc acest lucru pentru crearea de efecte. Pentru cazul în care aceste

Scanned with OKEN Scanner

fenomene apar datorită neatenției sau neexperienței, este necesară o prelucrare electronică suplimentară (limitarea) pentru obținerea de performanțe satisfăcătoare. De asemenea, este utilă utilizarea de panouri absorbante, puse în spatele solistului, pentru eliminarea reflexiilor.

Pentru înregistrările efectuate în aer liber, microfonul condensator nu mai dă performanțe suficient de bune, motiv pentru care este utilizat microfonul de mână „hand-held" special construit pentru a nu introduce distorsiuni la șocuri, vibrații și utilizare dinamică. Obținerea de performanțe superioare la captările pentru redare în direct se poate realiza prin utilizarea efectului de proximitate, cu ajutorul căruia se pot obține sunete joase.

d. GRUPUL VOCAL

În cazul captării grupurilor vocale mici (mai puțin de 8 soliști), este suficient un singur microfon având o caracteristică de directivitate omnidirecțională, plasat în centrul cercului realizat de soliști. Acest tip de aranjament necesită o ajustare a distanței fiecărui solist față de microfon pentru a obține un rezultat corespunzător al balanței fiecăruia. În aceste condiții există posibilitatea ca poziționarea să fie critică, deoarece o mică modificare a poziției poate conduce la modificarea majoră a sunetului.

e. FORMAȚII CU INSTRUMENTE CU COARDE

Pentru instrumentele cu coarde, utilizarea unui microfon prea apropiat poate introduce denaturarea sunetului. Din acest motiv este mult mai bună utilizarea de microfoane aflate la distanță, dar aceasta necesită existența unei încăperi cu acustică și dimensiuni corespunzătoare. În acest caz există două posibilități extreme, și anume:

- fiecare instrument să aibă microfonul său, lucru ce poate conduce la un bun control cu ajutorul mixerului balanței fiecărui instrument, dar fără a se putea garanta obținerea celui mai bun rezultat;
- utilizarea unui microfon principal plasat într-un punct ce determină cea mai bună captare și la o înălțime de cel puțin 25 cm, cu posibilitatea utilizării unor microfoane suplimentare pentru violoncel și contrabas (figura 4.31).

În practică, tehnica utilizată este o combinație a acestora, figura 4.32. În acest caz se utilizează o pereche de microfoane de coincidență plasate la o distanță de aproximativ 5 – 6 m, după care pentru fiecare secțiune se amplasează un set de microfoane (câte unul la fiecare două instrumente). Pentru violoncel și contrabas se instalează microfoane separate la o distanță de aproximativ 30 – 60 cm de acestea. Pentru fiecare din acestea se realizează un reglaj la începutul concertului până la obținerea balansului corect [7].

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece este necesară captarea de frecvențe înalte și obținerea de regimuri tranzitorii bune, pentru acest tip de instrumente se utilizează microfoanele condensator.

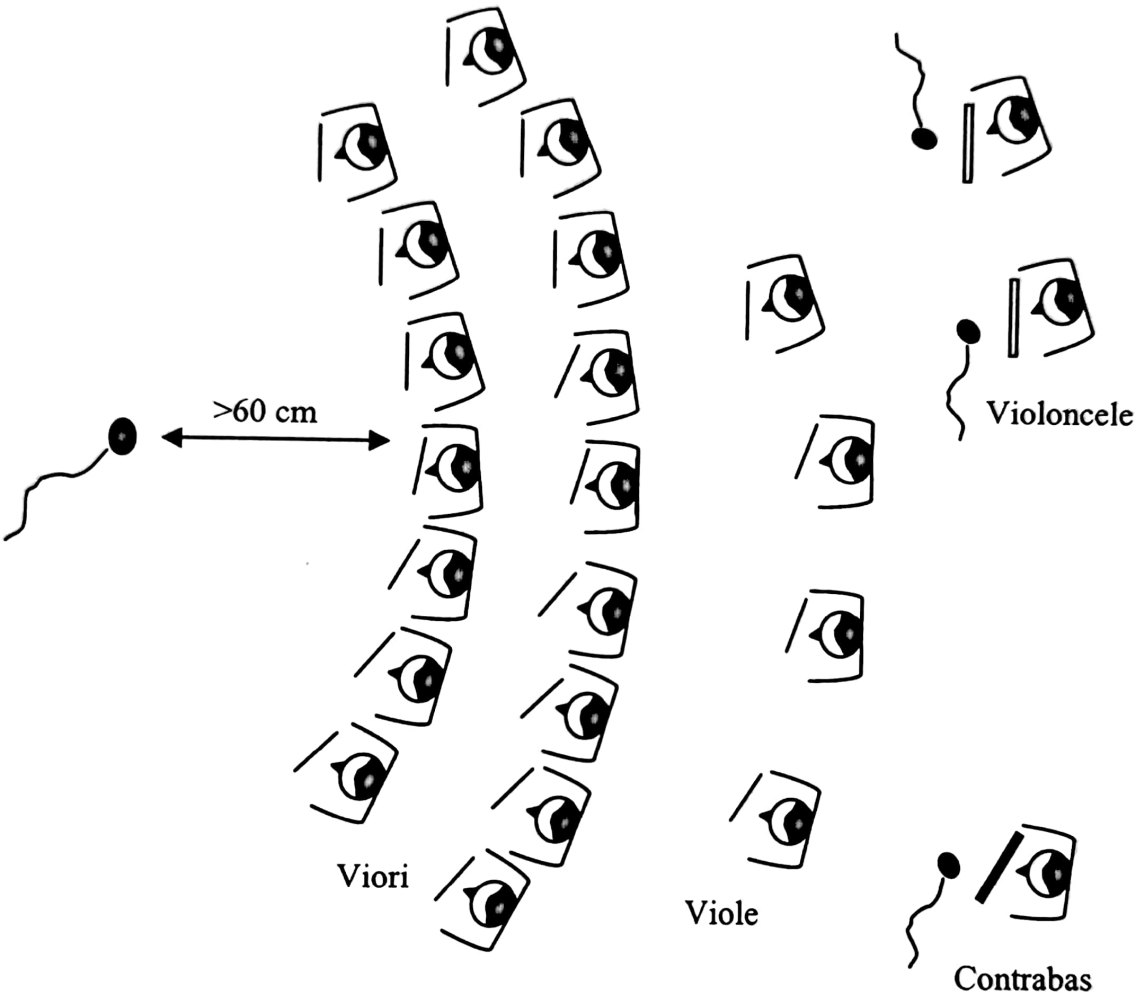


Figura 4.32. Amplasarea unui singur microfon pentru captarea unei formații de instrumente cu coarde (microfoanele 1, 2, 3 sunt opționale).

f. INSTRUMENTE CU PÂLNIE

În lumea muzicii, instrumentele cu pâlnie sunt în general instrumentele ce generează frecvențe joase, cum ar fi: trompetele, tromboanele, saxofoanele etc. În sistemele moderne de înregistrare, pentru fiecare din aceste instrumente se utilizează un microfon separat. Deoarece cele mai multe dintre aceste instrumente sunt capabile să producă sunete având niveluri foarte mari (mai mari de 130 dB), este important ca microfoanele alese să nu genereze supratensiuni datorită amplasării apropiate. De asemenea, este necesară utilizarea unui compresor pentru a preveni supraîncărcarea preamplificatorului de la intrarea în mixer sau a transformatorului de intrare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru aceste instrumente, cel mai adesea sunt utilizate microfoanele condensator, dar se obţin rezultate destul de bune şi prin utilizarea microfoanelor dinamice sau cu bandă. De mare importanţă este şi poziţia microfoanelor, deoarece aceasta ne poate oferi un compromis între prezenţa datorată plasării apropiate a microfonului şi o mai bună tonalitate la plasarea mai îndepărtată. În figura 4.33 sunt prezentate posibilităţi de amplasare a microfoanelor pentru trompetă (4.33.a) şi saxofon (4.33.b).

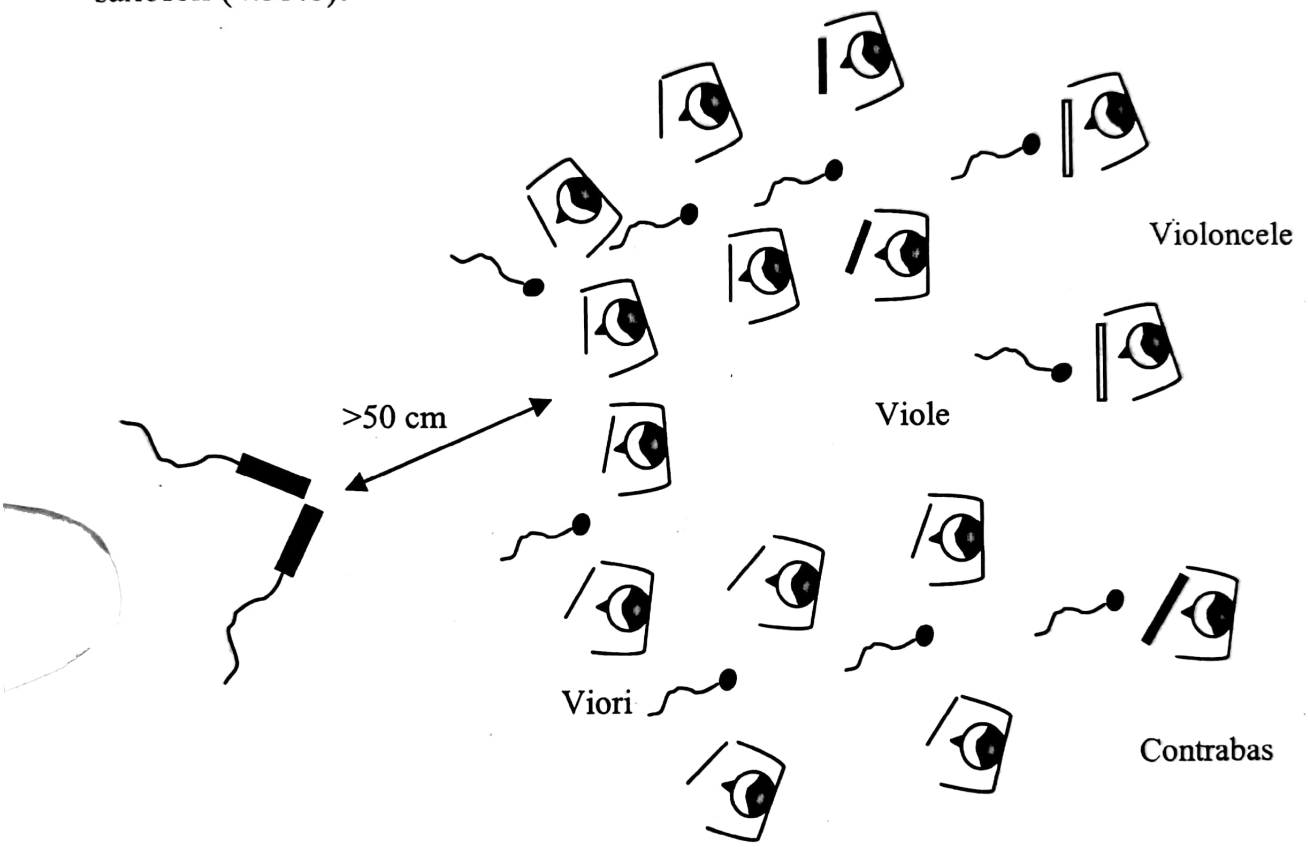


Figura 4.33. Amplasarea microfoanelor pentru înregistrarea unei formaţii de instrumente cu coarde.

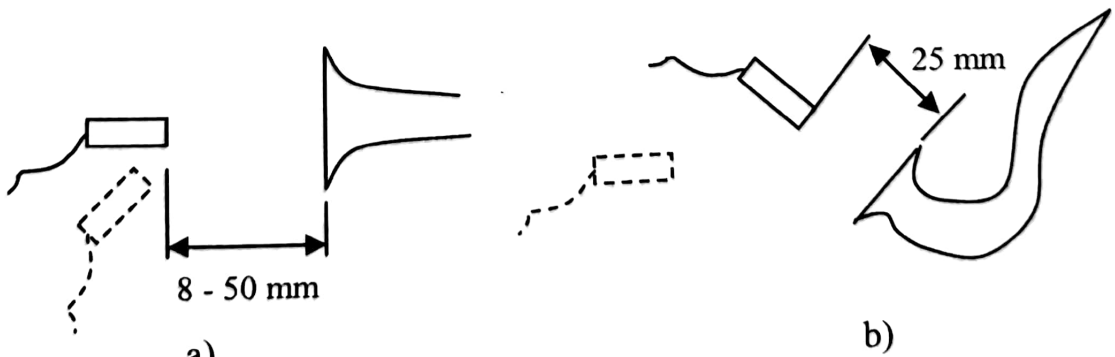


Figura 4.34. Amplasarea microfoanelor pentru instrumente cu pâlnie:
a) trompetă; b) saxofon.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul trompetei, amplasarea microfonului pe axul şi în apropierea acesteia va necesita folosirea unor compresoare de dinamică, deoarece sunetul este foarte puternic. Amplasarea sub un anumit unghi şi la o distanţă mai mare (aproximativ 1,5 m) va conduce la obţinerea unui sunet mai melodios.

Pentru saxofon, amplasarea apropiată şi pe axul instrumentului realizează o bună izolare a sunetului captat faţă de celelalte instrumente şi conduce la obţinerea unui sunet puternic. Dacă se doreşte obţinerea unui sunet natural microfonul trebuie depărtat la aproximativ 45 cm. Deoarece cel ce cântă la saxofon are mişcări destul de ample, sunetul captat poate avea variaţii mari de intensitate. Există posibilitatea ca în cazul unor formaţii cu mai multe saxofoane să se utilizeze un singur microfon pentru toate aceste instrumente [5].

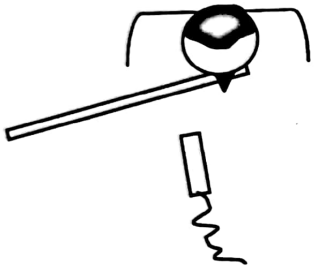


Figura 4.35. Amplasarea microfonului în cazul unui flaut.

g. INSTRUMENTE DE SUFLAT

Instrumentele din această categorie, cum ar fi clarinetul, flautul etc. nu permit datorită variaţiilor undelor emise captarea cu microfoane apropiate. Din acest motiv, microfoanele sunt amplasate la o distanţă mai mare de 30 cm. La fel ca instrumentele cu pâlnie, şi în cazul acestor instrumente sunt folosite microfoane individuale. Cele mai utilizate microfoane sunt cele condensator şi cu bandă, rezultatele putând fi îmbunătăţite prin întrebuinţarea microfoanelor condensator de presiune (PZM), amplasate pe suprafaţa pardoselii. Pentru o formaţie de instrumente de suflat cea mai bună soluţie o reprezintă utilizarea unei captări asemănătoare celei din figura 4.34 în care distanţa până la microfon este de aproximativ 50 cm [25].

h. INSTRUMENTE ELECTRONICE

Prin instrumente electronice vom înţelege acele instrumente proiectate a fi reproduse prin intermediul amplificatoarelor şi difuzoarelor. Între aceste instrumente putem enumera: chitara electronică, diferite sintetizoare, precum şi alte instrumente acustice având ieşiri pentru amplificatoare. În general, pentru aceste instrumente sunt prevăzute microfoane amplasate corespunzător sistemului amplificator/difuzor intrebuinţat de instrument. Amplificatorul utilizat de aceste sisteme este în general foarte important, deoarece prin preluarea semnalului direct de la instrument se obţine un sunet total nenatural. În aceste situaţii, în funcţie de sistemul de difuzoare folosit, este utilizată una din soluţiile:

Scanned with OKEN Scanner

- un microfon de apropiere amplasat la o distanţă cuprinsă între 0 şi 3 cm de capacul de protecţie al difuzoarelor, atunci când sistemul de difuzoare conţine mai multe difuzoare (figura 4.36.a);
- un microfon amplasat la o distanţă mai mare de 1,5 m, atunci când sunt numai două difuzoare (figura 4.36.b). Desigur, în acest caz trebuie realizată înregistrarea într-o încăpere cu acustică adecvată amplasării la distanţă a microfoanelor.

Pentru unele instrumente, cum ar fi sintetizoarele sau alte instrumente electronice cu clape, se poate prelua sunetul direct, întrucât în mod uzual sunetul acestora nu este influenţat de amplificatoare. Dezvoltarea tehnicilor numerice, precum şi a instrumentelor electronice permite ca în cazul acestora sunetul să fie preluat imediat după preamplificatoarele proprii. Obţinerea unor efecte de o calitate superioară recomandă utilizarea combinată a sunetului captat direct de la instrument cu cel preluat prin procedeul prezentat în figura 4.36.b [9].

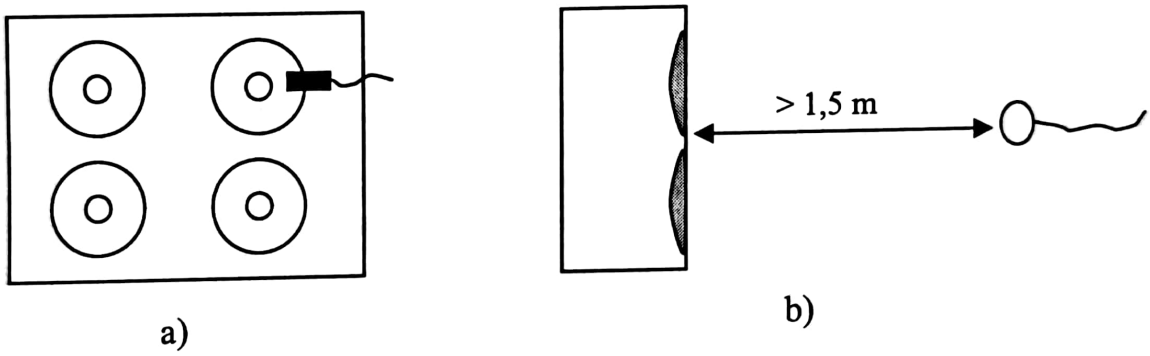


Figura 4.36. Amplasarea microfoanelor pentru instrumentele electronice.

i. INSTRUMENTE DE PERCUŢIE

Cele mai cunoscute instrumente de percuţie sunt cimbalul şi toba. Tehnicile moderne utilizează pentru fiecare din aceste instrumente un microfon suplimentar, putând fi folosite unul sau două microfoane amplasate deasupra setului pentru a prelua un sunet de ansamblu. Problema care apare este poziţia acestor microfoane pentru a prelua sunetul cât mai natural şi mai apropiat de ceea ce aşteptăm.

În general, pentru tobe poziţia microfonului este exterioară, cu o amplasare aproximativă ca cea din figura 4.37.a. O alternativă o constituie amplasarea în incinta tobei, soluţie ce este în general utilizată pentru tobele bas, figura 4.37.b.

Pentru cimbal poziţia microfonului nu este atât de importantă, dar de cele mai multe ori este utilizat deasupra instrumentului [25].

Scanned with OKEN Scanner

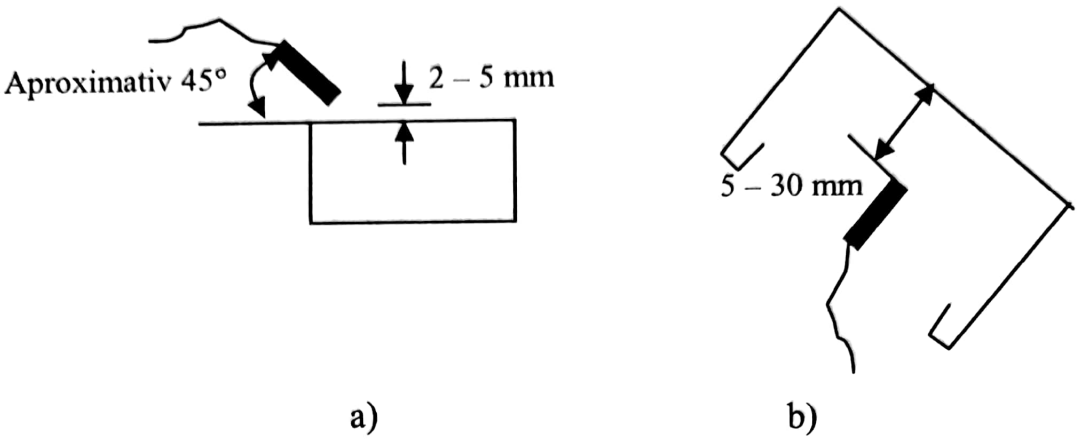


Figura 4.37. Amplasarea microfoanelor pentru tobe.

j. PIANUL

Pianul, în condițiile în care sunetul acestuia este preluat corespunzător, oferă înregistrării spațialitate, precum şi „culoare". Cea mai uzuală tehnică de preluare a semnalelor este folosirea unui singur microfon mono sau stereo, în funcție de tipul de înregistrare sau redare pe care dorim să-l efectuăm, amplasat la o distanță cuprinsă între 1,5 şi 3,5 m (figura 4.37.a). În cazul înregistrărilor moderne, se întrebuințează de obicei două microfoane amplasate în cavitatea pianului (microfoane de presiune PZM, A şi B), figura 4.37.b, sau în exteriorul acestuia cu capacul deschis, în aproximativ aceeaşi amplasare ca şi în cazul microfoanelor PZM. Dacă se utilizează un microfon de coincidență (microfoane de tip cardioid cu unghiul dintre direcțiile principale ale caracteristicilor de directivitate de aproximativ 120°), acesta are aproximativ plasarea din punctul C la aproximativ 20 cm de corzi [17].

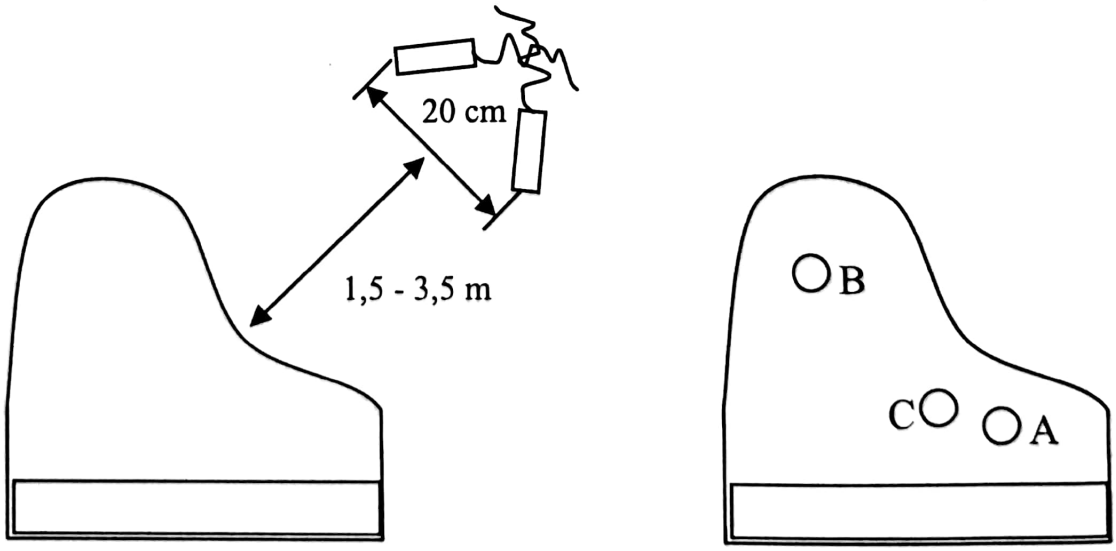


Figura 4.38. Amplasarea microfoanelor în cazul pianului.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 5

DIFUZOARE, INCINTE, CĂŞTI

Pentru reproducerea sunetului în condiţii de înaltă fidelitate, echipamentul de redare are o mare importanţă şi de aceea este necesar să fie cunoscute elementele sale componente, principiile de alegere şi selecţionare a acestora, precum şi modalităţile prin care se pot aduce îmbunătăţirile dorite de fiecare ascultător.

Difuzorul este elementul cel mai important al unui echipament de ascultare care trebuie să reproducă sunetul cât mai aproape de condiţiile reale. Aceasta presupune acoperirea întregii benzi de frecvenţă şi a gamei dinamice a sunetelor perceptibile şi, în plus, să asigure puteri acustice radiate cât mai mari, pentru a acoperi spaţii cât mai întinse.

Sistemul de difuzoare este ansamblul emiţător de sunet, constituit din unul sau mai multe difuzoare (radiatoare) prevăzute cu dispozitive acustice şi electrice pasive (filtre). Difuzorul combinat sau multiplu reprezintă cel mai simplu exemplu de sistem de difuzoare.

Incinta acustică este formată dintr-un sistem de difuzoare montate într-o cutie (incintă) cu proprietăţi acustice precizate.

Căştile reprezintă cel mai simplu sistem de reproducere directă a sunetului pentru urechea umană.

Echipamentul de redare este un ansamblu format dintr-unul sau mai multe incinte acustice specializate pe domenii de frecvenţă, cu unul sau mai multe amplificatoare de putere asociate, destinate reproducerii unui singur semnal.

5.1. DIFUZOARE

Difuzorul este un transductor electroacustic, fără dispozitive acustice şi electrice anexe, care transformă energia electrică de audiofrecvenţă în energie acustică, pe care o radiază în mediul ambiant. Deoarece este o sursă de sunet, se mai numeşte şi radiator acustic. Randamentul transformării este foarte scăzut, dintre toate transductoarele el pune problemele cele mai dificile, atât din punct de vedere al fidelităţii, cât şi din punctul de vedere al gabaritului şi preţului de cost.

Scanned with OKEN Scanner

Cu toate progresele făcute în tehnică, în general, principiile esențiale ale difuzoarelor nu s-au modificat, construcția unui difuzor necesitând numeroase cunoştințe tehnice şi, deoarece nu toate elementele lui pot fi calculate, de multe ori este necesară o îndelungată experiență pentru obținerea unor rezultate optime. Lipsa unei soluții optime (ideale) este evidențiată de multitudinea de variante ale fiecărei componente.

5.1.1. CLASIFICAREA DIFUZOARELOR

a. DIN PUNCT DE VEDERE AL CUPLAJULUI ELECTROMAGNETIC

- forțe mecanice produse de acțiunea curenților electrici:
  - piezoelectrice - forța mecanică este proporțională cu tensiunea electrică,
  - electrostatice - forța este proporțională cu cantitatea de electricitate;
- forțe mecanice produse de interacțiuni ale câmpurilor electrice şi magnetice:
  - electromagnetice - forța proporțională cu curentul,
  - electrodinamice - forța proporțională cu curentul,
  - magneto-strictive - forța proporțională cu fluxul magnetic.

Difuzoarele magneto-strictive, şi într-o oarecare măsură, şi cele piezoelectrice sunt întrebuințate numai pentru producerea ultrasunetelor.

b. DIN PUNCT DE VEDERE AL TRANSFORMĂRII MECANO-ACUSTICE

- difuzoare cu radiație directă - membrana radiază direct în aer,
- difuzoare cu pâlnie - elementul radiant este cuplat cu aerul printr-o pâlnie,
- difuzoare fără radiator (ionofonul, difuzor cu efect Corona).

5.1.2. TIPURI DE DIFUZOARE

a. DIFUZORUL ELECTROMAGNETIC

Acest tip de difuzor a fost utilizat pe scară foarte largă. Mecanismul unui difuzor electromagnetic cu armătura vibrantă se compune dintr-un magnet permanent de care este fixată o armatură de fier moale, elastică (figura 5.1). Între unul din polii magnetului şi armătura elastică, datorită acțiunii pe care o exercită un câmp magnetic asupra unui material feromagnetic, se naşte o forță de atracție. Dacă în bobina montată pe magnet circulă un curent alternativ de audiofrecvență, în funcție de sensul acestuia, fluxul dat de bobină se va aduna sau se va scădea din fluxul magnetic total.

În aceste condiții şi forța de atracție va fi mai mică sau mai mare, iar armătura elastică va începe să vibreze şi, fiind legată de o membrană, o va pune pe aceasta în mişcare, producându-se unde acustice.

Scanned with OKEN Scanner

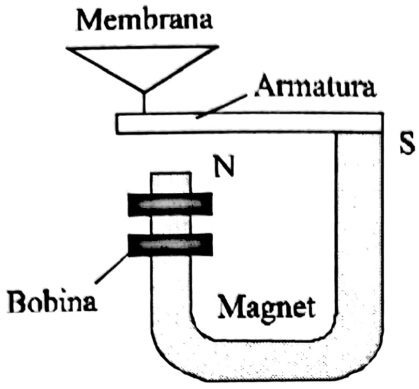


Figura 5.1. Principiul difuzorului electromagnetic.

O perfecţionare a acestui tip de difuzor se poate obţine prin utilizarea unor pârghii de echilibru a armăturii. Acest difuzor are un preţ destul de redus. Din acest motiv el a fost folosit la echiparea primelor radioreceptoare, dar deoarece banda de frecvenţe reprodusă nu este suficient de mare (nu poate reproduce frecvenţe mai joase de 200 Hz şi mai înalte de 5.000 Hz) şi prezintă rezonanţe parazite datorate armăturii mobile, acest difuzor se utilizează la ora actuală foarte puţin.

b. DIFUZORUL ELECTRODINAMIC

Principiul de funcţionare se bazează pe acţiunea forţelor dinamice asupra unui conductor parcurs de un curent, când acesta se află într-un câmp magnetic. Astfel, dacă într-o bobină care se poate mişca liber într-un câmp magnetic radial constant trece un curent, paralel cu axa bobinei ia naştere o forţă care acţionează asupra acesteia.

Dacă prin bobină circulă un curent alternativ, forţa este în orice moment proporţională cu valoarea instantanee a curentului şi îşi schimbă sensul la fiecare alternanţă. Bobina se va mişca pe o direcţie paralelă cu axa ei în întrefier, cu aceeaşi frecvenţă ca şi a curentului care o traversează. Bobina constituie de fapt dispozitivul ce realizează transformarea energiei electrice în energie mecanică, aceasta la rândul ei fiind transformată în energie acustică cu ajutorul unei membrane conice, legată solitar cu bobina (acest tip de difuzor se numeşte cu radiaţie directă deoarece membrana radiază direct în aer).

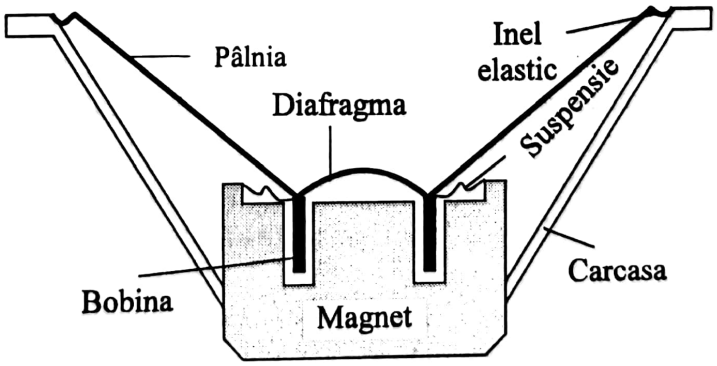


Figura 5.2. Principiul microfonului electrodinamic.

Având un transfer de putere mic, difuzoarele cu radiaţie au un randament scăzut (5 până la 8 %), de aceea se utilizează difuzoare cu pâlnie, care se deosebesc de

Scanned with OKEN Scanner

difuzoarele cu radiație directă prin modul de cuplaj cu aerul, cuplaj ce se realizează printr-o pâlnie.

O pâlnie acustică este construită dintr-un tub cu secțiune continuu variabilă, având diferite forme: exponențială, parabolică, conică, hiperbolică şi a căror lungime poate ajunge foarte mare, funcție de banda de frecvențe ce se doreşte a se obține.

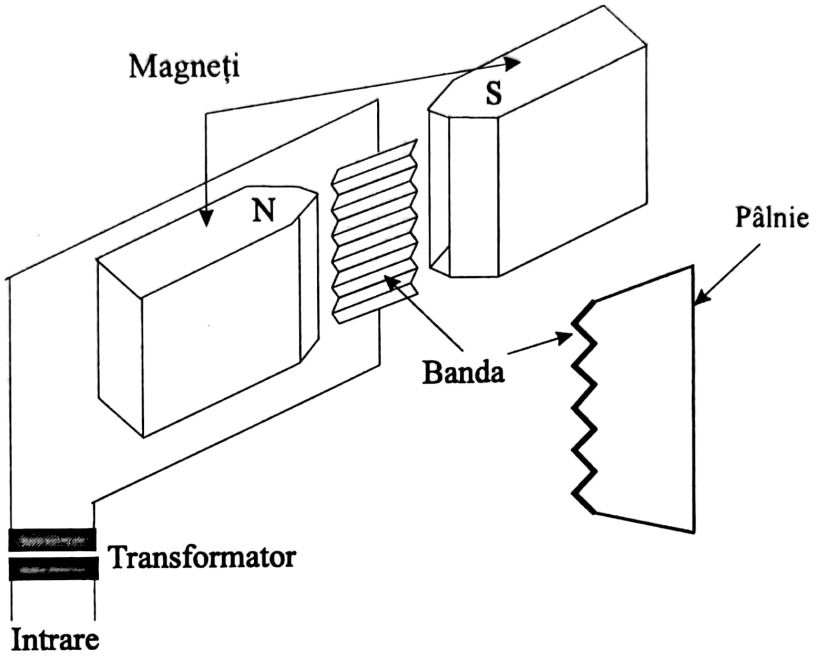


Figura 5.3. Principiul difuzorului cu bandă.

Pentru difuzoarele uzuale forța motoare se aplică vârfului membranei, prin intermediul bobinei mobile, ceea ce determină acționarea acesteia ca un piston. Acest mod de lucru valabil pentru frecvențe joase nu mai este valabil şi pentru frecvențe înalte, unde, datorită faptului că membrana are diverse moduri de vibrații, caracteristica de frecvență capătă o alură foarte neregulată. Acest dezavantaj, al aplicării forței într-un singur punct, este remediat prin utilizarea difuzorului cu bandă (figura 5.3). Difuzorul are un domeniu de utilizare pentru frecvențe de peste 3.000 Hz, iar randamentul său este îmbunătățit prin utilizarea unei pâlnii exponențiale sau hiperbolice.

Difuzoarele electrodinamice se realizează în diferite variante constructive, în funcție de scopul şi necesitățile practice.

(1) Difuzoare eliptice

Sunt realizate pentru puteri între 0,5 şi 8 W, având un raport între diametrul mare şi cel mic de 3:1. Banda de frecvență este între 50 şi 9.000 Hz. În cazul utilizării acestora la receptoarele de televiziune există tendința de mărire a raporturilor dintre diametre (90/350 mm).

Scanned with OKEN Scanner

(2) Difuzoare circulare

Cuprind o varietate mai mare, începând de la diametre de 100 mm şi până la 250 mm cu puteri între 1,5 şi 200 W.

(3) Difuzoare miniatură

Sunt folosite în special pentru echiparea radioreceptoarelor, radioemiţătoarelor şi casetofoanelor portabile. Sunt de obicei circulare, având diametrul mai mic de 100 mm şi puteri cuprinse între 0,1 şi 0,5 W. Toate difuzoarele miniatură sunt echipate cu magnet central, pentru a avea un flux de scăpări cât mai mic, deoarece, în caz contrar, în condiţiile de miniaturizare impuse de tehnica actuală, acest flux de scăpări ar perturba celelalte circuite magnetice (antena de ferită, bobina oscilatorului, mediile frecvenţe etc.).

c. DIFUZORUL ELECTROSTATIC

Principiul de funcţionare se bazează pe interacţiunea sarcinilor electrice, schema de principiu a difuzorului electrostatic fiind prezentată în figura 5.4. El este compus dintr-o membrană subţire şi conductoare M, aşezată faţă în faţă cu o placă rigidă de metal P. Cele două formează armăturile unui condensator, între care, dacă se aplică o tensiune continuă, ia naştere o forţă statică de atracţie care va tensiona membrana.

Semnalul audio este aplicat difuzorului electrostatic printr-un transformator şi suprapus peste tensiunea continuă a bateriei va produce vibraţii ale membranei în ritmul tensiunii de audiofrecvenţă.

O îmbunătăţire a acestui difuzor este difuzorul în contratimp. El se compune din două plăci perforate fixe între care poate vibra o membrană foarte subţire şi foarte uşoară, dintr-un material plastic metalizat pe ambele feţe. Suprafaţa găurilor trebuie să reprezinte peste 30% din suprafaţa plăcilor pentru ca acestea să se comporte ca nişte plăci „transparente".

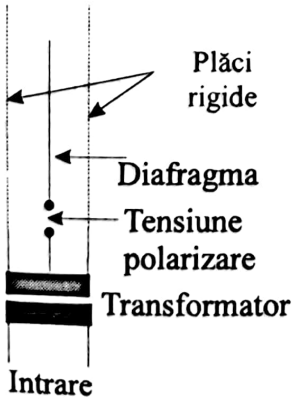


Figura 5.4. Principiul difuzorului electrostatic.

Dacă prin construcţie membrana este aşezată la mijlocul distanţei dintre plăci, în cazul absenţei semnalului audio, cele două forţe ce iau naştere între membrană şi plăci sunt egale, motiv pentru care membrana rămâne nemişcată. La aplicarea unui semnal alternativ, se redistribuie sarcinile electrice funcţie de alternanţa tensiunii aplicate, ceea ce duce la deplasarea membranei şi formarea undelor acustice.

Avantajele difuzorului electrostatic sunt următoarele:

- forţa de acţionare se aplică întregii suprafeţe a membranei, care neavând inerţie (este foarte uşoară) va putea reproduce în condiţii bune frecvenţele înalte,
- caracteristica de frecvenţă nu are neliniarităţi mari ca la celelalte tipuri de difuzoare,

Scanned with OKEN Scanner

- distorsiunile de neliniaritate sunt foarte mici.

Dezavantajele difuzorului electrostatic constau în:

- încărcarea acustică a membranei la frecvenţe joase,
- adaptarea dificilă a amplificatorului la sarcina capacitivă prezentă în difuzor.

Din acest motiv realizarea unui difuzor care să reproducă şi frecvenţele joase este destul de dificilă. De asemenea, dimensiunile difuzorului sunt mari iar amplificatoarele trebuie să fie de foarte bună calitate şi destul de mari. Considerentele prezentate mai sus conduc la folosirea acestui tip de difuzor pentru reproducerea părţii superioare a spectrului sonor.

d. DIFUZOARE SPECIALE

(1) Difuzorul piezoelectric

Este folosit în special pentru reproducerea frecvenţelor înalte. Constă dintr-un cristal piezo legat rigid de o membrană. Tensiunea de audiofrecvenţă se aplică cristalului, care sub acţiunea câmpului electric variabil, datorită efectului piezoelectric, vibrează punând în acţiune membrana. Deoarece acest tip de difuzor are o impedanţă foarte mare (de ordinul 100 kΩ) şi întrucât oscilaţiile cristalelor nu sunt foarte mari, puterile acustice care se pot radia sunt relativ mici.

(2) Difuzorul magnetostrictiv

Se foloseşte numai în domeniul frecvenţelor mai mari de 20.000 Hz (ultrasunete). Principiul de funcţionare se bazează pe efectul magnetostrictiv, adică pe proprietatea materialelor feromagnetice de a suferi deformaţii sub acţiunea unui câmp magnetic.

(3) Difuzorul cu efect Corona

Între două conductoare aflate la o mare diferenţă de potenţial pot apărea descărcări electrice, concretizate printr-o peliculă luminiscentă la suprafaţa conductorului. Particulele de aer sunt puse în mişcare cu ajutorul acestei descărcări. Ele se pot mişca în ritmul tensiunii alternative (tensiune ce se aplică acestui difuzor) şi, dacă acesta are o frecvenţă audio, se va auzi un sunet. Difuzorul prezintă mai mult interes ştiinţific decât practic, datorită greutăţii de realizare a tensiunilor mari care se cer pentru producerea efectului Corona.

(4) Ionofonul

La fel ca şi difuzorul cu efect Corona, nici acest tip de difuzor nu are membrana care să radieze undele acustice, forţele de acţionare fiind aplicate direct particulelor de aer. Principiul de funcţionare se bazează pe deplasarea ionilor pe sub

Scanned with OKEN Scanner

- distorsiunile de neliniaritate sunt foarte mici.

Dezavantajele difuzorului electrostatic constau în:

- încărcarea acustică a membranei la frecvenţe joase,
- adaptarea dificilă a amplificatorului la sarcina capacitivă prezentă în difuzor.

Din acest motiv realizarea unui difuzor care să reproducă şi frecvenţele joase este destul de dificilă. De asemenea, dimensiunile difuzorului sunt mari iar amplificatoarele trebuie să fie de foarte bună calitate şi destul de mari. Considerentele prezentate mai sus conduc la folosirea acestui tip de difuzor pentru reproducerea părţii superioare a spectrului sonor.

d. DIFUZOARE SPECIALE

(1) Difuzorul piezoelectric

Este folosit în special pentru reproducerea frecvenţelor înalte. Constă dintr-un cristal piezo legat rigid de o membrană. Tensiunea de audiofrecvenţă se aplică cristalului, care sub acţiunea câmpului electric variabil, datorită efectului piezoelectric, vibrează punând în acţiune membrana. Deoarece acest tip de difuzor are o impedanţă foarte mare (de ordinul 100 kΩ) şi întrucât oscilaţiile cristalelor nu sunt foarte mari, puterile acustice care se pot radia sunt relativ mici.

(2) Difuzorul magnetostrictiv

Se foloseşte numai în domeniul frecvenţelor mai mari de 20.000 Hz (ultrasunete). Principiul de funcţionare se bazează pe efectul magnetostrictiv, adică pe proprietatea materialelor feromagnetice de a suferi deformaţii sub acţiunea unui câmp magnetic.

(3) Difuzorul cu efect Corona

Între două conductoare aflate la o mare diferenţă de potenţial pot apărea descărcări electrice, concretizate printr-o peliculă luminiscentă la suprafaţa conductorului. Particulele de aer sunt puse în mişcare cu ajutorul acestei descărcări. Ele se pot mişca în ritmul tensiunii alternative (tensiune ce se aplică acestui difuzor) şi, dacă acesta are o frecvenţă audio, se va auzi un sunet. Difuzorul prezintă mai mult interes ştiinţific decât practic, datorită greutăţii de realizare a tensiunilor mari care se cer pentru producerea efectului Corona.

(4) Ionofonul

La fel ca şi difuzorul cu efect Corona, nici acest tip de difuzor nu are membrana care să radieze undele acustice, forţele de acţionare fiind aplicate direct particulelor de aer. Principiul de funcţionare se bazează pe deplasarea ionilor pe sub

Scanned with OKEN Scanner

acţiunea unui câmp electric. Dacă câmpul este alternativ, mişcarea oscilatorie a aerului va produce sunete. Acest sistem nu poate însă funcţiona în bune condiţii decât la frecvenţe mai mici de 500 Hz.

e. DIFUZOARE PLATE

Încă de la inventarea difuzoarelor electrostatice s-au înregistrat progrese tehnologice în acest domeniu. Majoritatea erau îmbunatăţiri ale caracteristicilor anterioare ale unui anume tip de difuzoare. De exemplu, adaugarea faţetelor laterale pentru a atenua zgomotul produs de carcasă şi pentru a rezolva problemele directionale în ceea ce priveste bobina mobila a difuzorului.

S-au mai facut si alte încercari în acest domeniu, precum traductorul pizo-electric, însa nu s-au bucurat de succes comercial, renunţându-se la ele. Cea mai recenta si posibil cea mai revoluţionară invenţie în domeniul difuzoarelor, de la apariţia bobinei mobile, a fost brevetată de catre o companie britanica, NXT.

Noul difuzor are la bază o teorie pentru crearea sunetului cu totul diferită de cele existente la acel moment. Dezvoltată de catre DRA (Agentia de Cercetare a Ministerului Apararii) corpul difuzorului a fost initial proiectat pentru a izola fonic carlinga avioanelor de luptă. Din păcate pentru DRA panourile proiectate au avut efect opus, ele amplificand sunetele care se doreau a fi eliminate. Atunci DRA a optat pentru ideea de a transforma panoul intr-un difuzor puternic folosind proprietatea de amplificare în scopul producerii sunetului. Din păcate nu au putut crea nimic mai mult decat un simplu rezonator.

Tehnologia a fost vanduta in exclusivitate grupului Verity si companiilor Quad and Mission. Acestea si-au format proriul grup de cercetare sub indrumarea NXT pt a transforma panoul în difuzor. La doar doi ani după aceasta, profitând de ultima tehnologie în materie de calculatoare, pentru rezolvarea unor calcule matematice complexe care interveneau in proiectarea difuzoarelor, a luat nastere DML (Distributed Mode Loudspeaker).

Difuzorul este la baza un panou extrem de rigid actionat de unul sau mai multe mecanisme. El functioneaza prin directionarea vibratiilor catre panou, care oscilează producând sunete. La o primă vedere, aceste caracteristici sugereaza ca nu este posibila ideea unui difuzor putenic. Crearea mişcărilor aleatoare de la un punct sursa ar cauza interferenţe distructive, iar miscarile aleatorii ale ariilor adiacente ar sugera ca suma sunetelor produse tinde spre zero. Calculele elaborate au demonstrat ca panoul poate deveni un difuzor puternic dacă se controlează anumiti parametri ai acestuia şi ai mecanismului.

Mecanismul este propulsat catre panou (figura 5.5), iar acesta în loc să actioneze ca un piston el produce unde sub forma de vibratii in interiorul panoului. Controlând anumiţi parametri precum: rigiditatea, densitatea, suprafaţa, pozitia mecanismului si metoda de suspensie, difuzorul poate functiona ca un difuzor de putere.

Scanned with OKEN Scanner

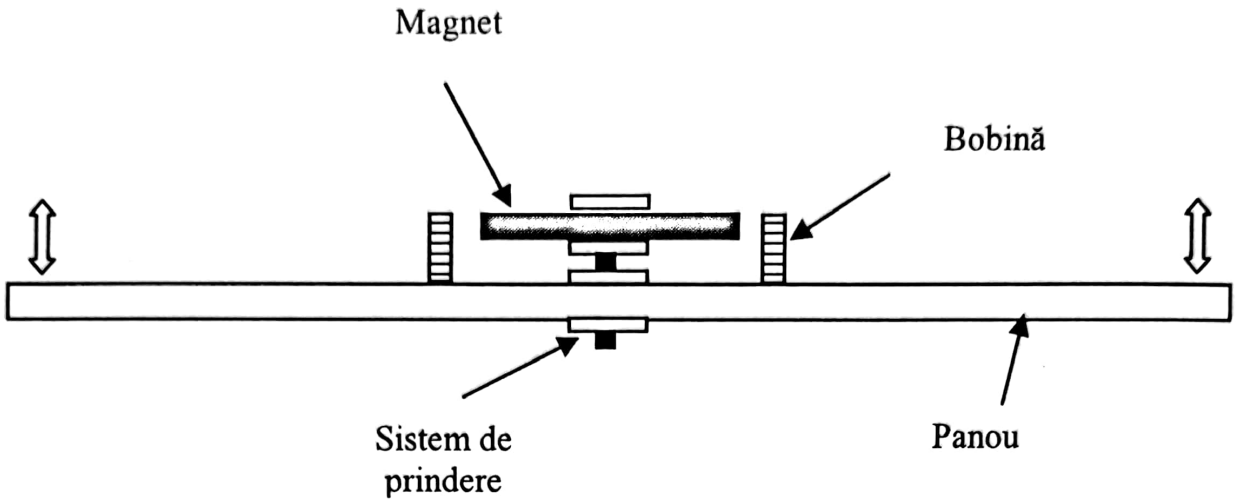


Figura 5.5. Structura difuzorului DML.

Deoarece pentru diferite parți ale difuzorului diferă parametrii, frecvențele rezonante vor fi diferite. Din acest motiv arii diferite se produc frecvențe diferite deci DML nu acționează ca un singur punct sursa, ci redă întreaga gamă de frecvențe, comparativ cu difuzoarele electrostatice clasice, care cu o singură bobina redau o bandă de frecventa redusă.

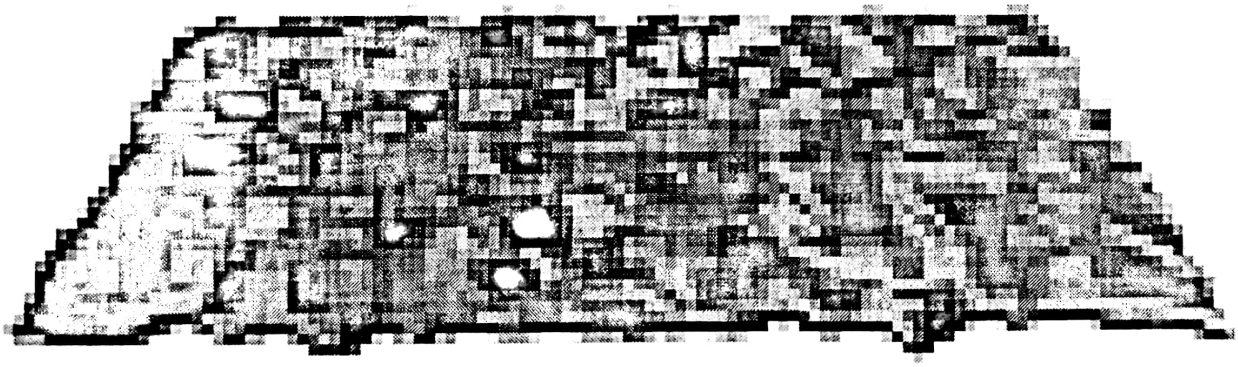


Figura 5.6. Suprafața panoului DML.

Principalele performanțe ale difuzoarelor plate sunt:

- Distorsiuni mult mai mici decât a difuzoarelor electrodinamice clasice deoarece mișcările de ordinul micronilor implică momente de forță precum și accelerații mult mai mici,
- Au o gamă de aplicații foarte mare, această caracteristică fiind determinată de suprafața activă ce poate fi între 25 cm^2 și 100 m^2, și grosimea de la 3 mm la 25 mm. Desi sunt mici si usoare, au un sunet de calitate superioara de-a lungul intregii benzi de frecventa

Scanned with OKEN Scanner

- Datorita modului de functionare sunt realizate astfel ca părţile din faţă şi spate să lucreze in faza, putând fi amplasate astfel încât să genereze unde acustice în direcţii diferite (caracteristică bipolară).
- Caracteristică de frecvenţă mai uniformă decât a difuzoarelor convenţionale şi bandă de frecvenţă mai mare.
- Variaţie liniară a raspunsului cu distanţa,
- Dimensiuni mai reduse comparativ cu cele ale difuzoarelor clasice, la aceleaşi performanţe.

5.1.3. PARAMETRII DIFUZOARELOR

Caracteristicile de bază sunt:

a. PUTEREA ELECTRICĂ NOMINALĂ

Este exprimată în VA şi reprezintă puterea electrică aparentă consumată la bornele de intrare, la frecvenţa de 1.000 Hz, pentru care distorsiunile nu depăşesc 4-5%, iar temperatura elementelor constitutive nu depăşeşte valoarea de 60 – 65° C. Aceasta este indicată de fabricant.

b. PRESIUNEA ACUSTICĂ STANDARD

Este definită ca presiunea obţinută la distanţa de un metru, când difuzorului i se aplică o putere electrică de 0,1 VA, semnalul având frecvenţa de 1.000 Hz.

c. IMPEDANŢA DIFUZORULUI

Reprezintă în Ω valoarea impedanţei electrice măsurate la bornele de intrare ale difuzorului, la frecvenţa de 1.000 Hz.

d. CARACTERISTICA DE FRECVENŢĂ

Este variaţia presiunii acustice a difuzorului pe axa principală în funcţie de frecvenţă. Cu cât această caracteristică este mai uniformă într-o bandă de frecvenţă mai largă, cu atât difuzorul este considerat mai bun.

e. FRECVENŢA DE REZONANŢĂ

Este un parametru al sistemului mobil, care depinde de masă şi elasticitatea sistemului mobil şi este recomandabil să se afle în afara benzii de frecvenţe redate de difuzor.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

f. RANDAMENTUL DIFUZORULUI

Se defineşte ca fiind raportul dintre puterea acustică radiată şi puterea electrică reală absorbită. Randamentul difuzorului variază cu frecvenţa, este proporţional cu suprafaţa membranei, cu volumul magnetului şi cu pătratul inducţiei din întrefier şi invers proporţional cu pătratul masei elementului mobil.

g. CARACTERISTICA DE DIRECTIVITATE

Ne arată repartiţia în spaţiu a energiei acustice radiate faţă de energia radiată pe axa principală. Directivitatea depinde de frecvenţa, de diametrul şi unghiul de deschidere al conului membranei crescând o dată cu frecvenţa (figura 5.7). La o frecvenţă dată, un difuzor cu un diametru mai mare este mai directiv decât un difuzor cu un diametru mai mic. De asemenea, directivitatea este mai mare atunci când unghiul de deschidere al membranei este mai mic.

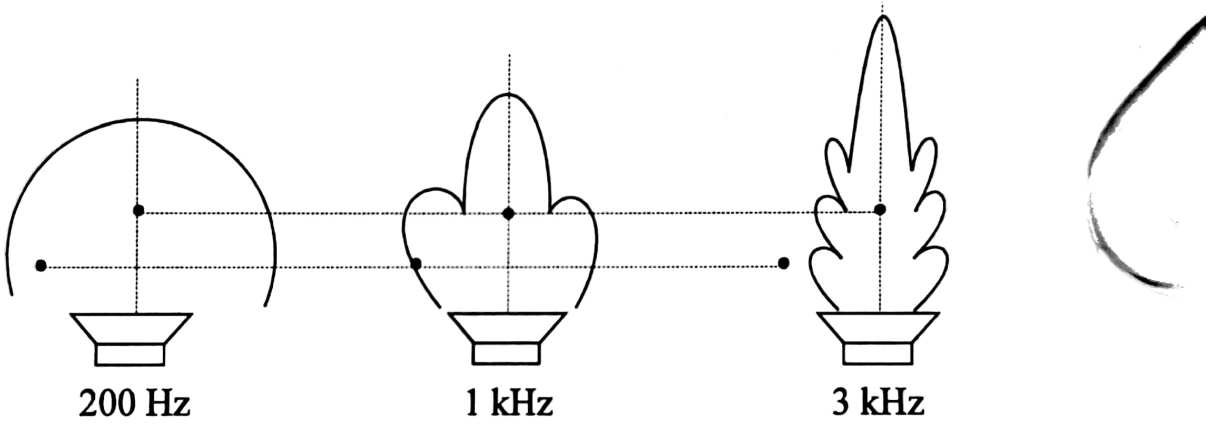


Figura 5.7. Modificarea caracteristicii de directivitate la difuzoare.

h. DISTORSIUNILE NELINIARE

Sunt datorate în principal neliniarităţii suspensiei, neomogenităţii fluxului în întrefier, iar la difuzoarele cu pâlnie şi neliniarităţii aerului. Acestea sunt mai mari când amplitudinea de oscilaţie creşte, deci la frecvenţe joase şi la puteri acustice mari.

5.1.4. DOMENIILE DE UTILIZARE ALE DIFUZOARELOR

Analiza funcţionării difuzorului ca radiator acustic, respectiv ca sursă de sunet, are la bază cuplajul membranei cu mediul înconjurător şi stabilirea soluţiilor pentru înlăturarea deficienţelor constatate.

La prima vedere, s-ar putea crede că masa de aer pusă în mişcare se deplasează în linie dreaptă, în realitate, însă, fenomenul este mai complex, deoarece în momentul considerat, în spatele membranei apare o depresiune (presiune). Diferenţa de presiune tinde să se egalizeze, ceea ce conduce la apariţia undelor de tip vârtej, ducând în acelaşi timp la diminuarea presiunii acustice utile.

Această diminuare apare la frecvenţe joase, putând fi micşorată prin lungirea artificială a drumului faţă – spate, lucru ce se realizează în cazul panourilor şi al incintelor acustice.

Obţinerea unui intensităţi sonore cât mai mari la difuzor este posibilă prin mărirea amplitudinii membranei, deci a bobinei mobile. Astfel trebuie să aplicăm bobinei o putere electrică mărită. Puterea maximă ce poate fi aplicată difuzorului este limitată de:

- deteriorarea membranei şi a părţilor elastice,
- distrugerea conductorului bobinei mobile.

Astfel, puterea ce se poate da difuzorului este în funcţie de dimensiunile constructive şi tipul materialelor folosite. În nici un caz nu se poate aplica difuzorului o putere mai mare decât puterea muzicală, fiind preferabil ca raportul dintre puterea maximă a amplificatorului şi cea a difuzoarelor să fie 1:2. Utilizarea acestui raport duce la scăderea distorsiunilor armonice şi Doppler, ce pot apărea la vârfurile de excitaţie. În afara puterii nominale, la conectarea cu amplificatorul de putere este necesară şi cunoaşterea impedanţei difuzorului, în vederea realizării unui transfer de putere optim.

În timpul funcţionării se constată că nu toată suprafaţa membranei vibrează la toate frecvenţele, ci o dată cu creşterea frecvenţei scade suprafaţa vibrantă, ceea ce diminuează intensitatea sonoră radiată.

Membrana împreună cu bobina mobilă, ca şi sisteme mecanice, au o frecvenţă proprie de rezonantă, care depinde de masă şi forma acestora, ce este de regulă sub 100 Hz. La această frecvenţă apare o diminuare profundă a presiunii acustice radiate, astfel că la redarea frecvenţelor joase apar perturbaţii care se traduc prin distorsiuni şi zgomote nedorite (duruituri). Ele pot fi compensate în tehnica radiatoarelor acustice.

a. DIFUZOARE PENTRU FRECVENŢE JOASE

Pentru redarea liniară în domeniul frecvenţelor joase, cuprinse în general între 20 şi 2.000 Hz, se utilizează radiatoare special construite, deoarece difuzoarele trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- membrana trebuie să aibă diametrul şi suprafaţa mare, pentru a putea radia puteri mari cu randament bun,
- frecvenţa de rezonanţă mai mică de 20 Hz,
- membrana cât mai uşoară, pentru a avea un randament bun şi caracteristică tranzitorie bună,
- intensitatea câmpului magnetic în întrefier cât mai mare pentru ameliorarea randamentului şi a amortizărilor.

Constructiv, difuzoarele pentru redarea frecvenţelor joase de bună calitate au membrana prevăzută cu inele, diametrul membranei mare iar carcasa este turnată din aluminiu. La difuzoarele cele mai moderne, marginea membranei este prevăzută cu o

Scanned with OKEN Scanner

bordură de cauciuc, care se fixează de carcasă, conferind astfel o elasticitate sporită şi conducând la obţinerea elongaţiei maxime a membranei. Frecvenţa de rezonanţă, deşi ar trebui să fie sub 20 Hz, se obţine în domeniul 25-40 Hz, iar impedanţa este cuprinsă între 4,8 şi 15 Ω.

b. DIFUZOARE PENTRU FRECVENŢE MEDII

Banda de frecvenţă liniară a acestor difuzoare ar trebui să fie cuprinsă între 300 şi 5.000 Hz. Cerinţele pentru aceste difuzoare sunt:

- diametrul membranei cuprins între 100 şi 200 mm (membranele cel mai des utilizate sunt 150-200 mm),
- frecvenţa de rezonanţă sub valoarea frecvenţelor reproduse liniar.

Unghiul de radiaţie poate fi mărit dacă se montează difuzoare cu membrană ovală (eliptică) cu axa mare verticală. Membranele sunt din celuloză presată. În incintele de calitate se montează două sau patru astfel de difuzoare conectate în serie sau paralel (în funcţie de impedanţa necesară), pentru compensarea efectului nedorit al rezonanţei proprii a difuzoarelor.

Sunt construite pentru puteri între 5 şi 25 W cu rezistenţe de 4,8 sau 15 Ω.

c. DIFUZOARE PENTRU FRECVENŢE ÎNALTE

Pentru a realiza difuzoare în vederea reproducerii frecvenţelor înalte trebuie îndeplinită condiţia ca dimensiunile membranelor radiatoarelor să fie mai mari decât lungimea de undă corespunzătoare frecvenţei maxime ce trebuie reprodusă. Datorită acestui fapt poate apare o puternică fascicularizare a undelor acustice ce produce efecte supărătoare în spaţiu sonor, efecte ce pot fi reduse prin utilizarea mai multor difuzoare.

Cele mai importante particularităţi ale acestor difuzoare sunt:

- membrana foarte uşoară (celuloză impregnată, aluminiu presat etc.),
- frecvenţa de rezonanţă ridicată, dar mai mică cu cel puţin o octavă faţă de frecvenţa minima reprodusă.

Aceste difuzoare sunt realizate după diferite principii, cele mai răspândite tipuri constructive fiind:

- difuzoare cu membrană pâlnie din celuloză presată,
- difuzoare cu membrană pâlnie din mase plastice,
- difuzoare cu membrană calotă din mase plastice,
- difuzoare pâlnii cu membrană metalică.

Banda de frecvenţă reprodusă se situează în domeniul 5.000-16.000 Hz (cele cu calotă sferică au domeniul între 10.000 şi 20.000 Hz), cu puteri cuprinse între 1 şi 5 W.

Scanned with OKEN Scanner

d. DIFUZOARE DE BANDĂ LARGĂ

Rolul radiatoarelor de bandă largă este acela de a reproduce, cu o abatere acceptabilă, întreaga bandă a frecvenţelor audio. Un radiator de calitate, de bandă largă, trebuie să îndeplinească următoarele cerinţe:

- membrana să oscileze în toată banda de frecvenţe audio,
- piesele elastice de fixare să aibă aceeaşi elasticitate la orice elongaţii ale membranei,
- frecvenţa proprie de rezonanţă să rezulte sub 20 Hz.

Radiatoarele acustice de bandă largă cu o singură membrană din celuloză nu sunt capabile să producă cu o liniaritate acceptabilă banda de frecvenţe audio, mai ales în ceea ce priveşte reproducerea frecvenţelor mai mari de 10 kHz. În practică s-a adoptat următoarea soluţie: pentru reproducerea frecvenţelor joase şi mijlocii s-a prevăzut o membrană de hârtie (celuloză) de diametru mare, iar pentru compensarea reproducerii frecvenţelor înalte s-a aplicat o mică pâlnie tot din hârtie, de diametru mai mic. În acest mod se obţine o bandă de frecvenţe între 40 şi 16.000 Hz cu o abatere de ± 4 dB.

Puterea radiată este de 5-8 W, difuzorul fiind folosit în radioreceptoare, televizoare, magnetofoane unde este complicată utilizarea mai multor radiatoare acustice. Difuzoare de acest tip de puteri mai mari nu se fabrică datorită creşterii distorsiunilor de diferite tipuri.

5.1.5. SISTEME DE DIFUZOARE CU FILTRE DE SEPARARE

Deoarece realizarea difuzoarelor care să redea în mod corespunzător întreaga gamă audio este complicată, în practică este preferată împărţirea benzii de transmisie în două, trei sau patru subgame cu ajutorul unor filtre. Se obţin astfel sisteme de difuzoare cu mai multe benzi, care permit redarea unui spectru larg de frecvenţe, cu distorsiuni reduse, întrucât se folosesc difuzoare adecvate fiecărei subgame [36].

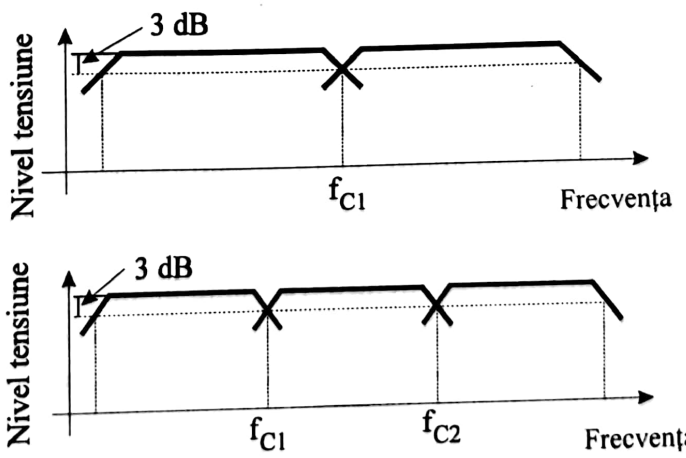
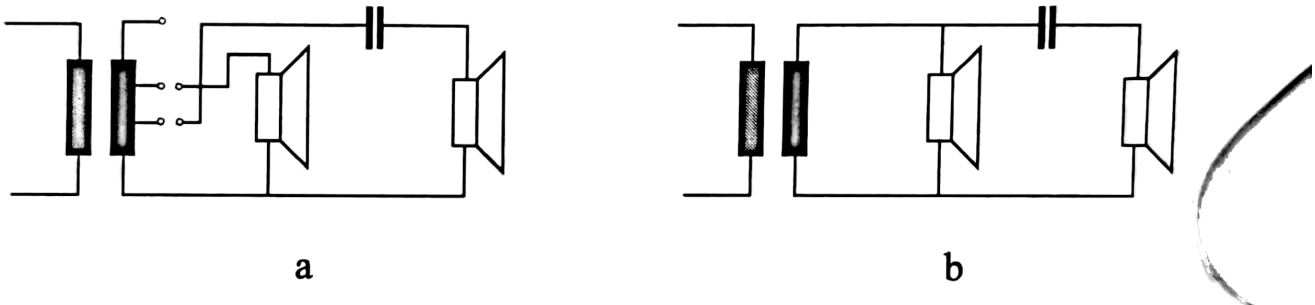


Figura 5.8. Divizarea spectrului audio la sistemele de difuzoare.

Scanned with OKEN Scanner

Schematic, împărţirea spectrului audio este prezentată în figura 5.8. Curbele trasate reprezintă nivelul tensiunilor la ieşirea filtrelor de separare. Alegerea numărului de subgame, precum şi a valorilor frecvenţelor de separare (f_C) se face în funcţie de parametrii difuzoarelor utilizate şi de caracteristica de frecvenţă cerută sistemului. Cele mai utilizate frecvenţe de separare sunt cele situate între 400 şi 800 Hz, şi între 4 şi 5 kHz.

Deoarece există multe difuzoare cu puteri între 6 şi 8 W având caracteristici ce permit redarea frecvenţelor joase şi medii, adică a frecvenţelor cuprinse între 40 şi 5.000 Hz, se folosesc difuzoare principale în sisteme simple, ca cele din figura 5.9. Pentru frecvenţe înalte sunt utilizate difuzoare a căror putere este 10% din puterea difuzorului principal. Conectarea din figura 5.9.b se utilizează pentru cazul în care impedanţele celor două difuzoare sunt aproximativ egale, iar cea din figura 5.9.a pentru cazul în care impedanţele sunt diferite.



a b

Figura 5.9. Conectarea difuzoarelor fără filtru de separare.

Valoarea condensatorului C se poate determina din condiţia ca, la frecvenţa de separare, reactanţa capacitivă să fie egală în modul cu impedanţa difuzorului:

$$C = \frac{1}{2\pi f Z_D}. \qquad (5.1)$$

Conectarea difuzorului de înaltă frecvenţă nu strică adaptarea ci o îmbunătăţeşte, deoarece la frecvenţe mai mari impedanţa difuzorului principal creşte. Se pot conecta în paralel mai multe difuzoare principale sau de înaltă frecvenţă, cu condiţia asigurării unei sinfazări corecte. Se observă că în acest caz difuzorului principal i se aplică întregul spectru audio, dat de amplificatorul de putere.

Foarte răspândite sunt sistemele ce utilizează filtre pentru separarea frecvenţelor transmise difuzoarelor. În figura 5.10 este prezentat modul de conectare a unor difuzoare principale şi a unor difuzoare pentru frecvenţe înalte de aceeaşi impedanţă.

La frecvenţa de separare, reactanţa bobinei este egală cu reactanţa capacitorului şi cu impedanţa difuzorului. Deci, fiecărui difuzor i se va aplica jumătate din puterea de ieşire a amplificatorului.

Din condiţia:

Scanned with OKEN Scanner

$$\omega_c L = \frac{1}{\omega_c C} = |Z|, \tag{5.2}$$

rezultă valoarea inductanței şi a capacității.

$$L = \frac{|Z|}{2\pi \quad f_C} \times 10^3 [\text{mH}]$$
$$C = \frac{1}{2\pi \quad f_C |Z|} \times 10^6 [\mu\text{F}] \tag{5.3}$$

Impedanța de intrare este egală cu impedanța difuzorului.

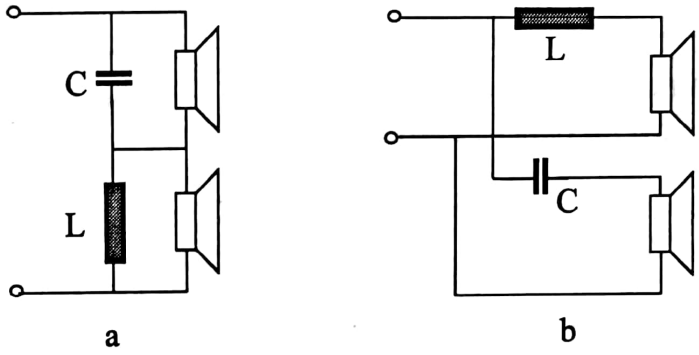


Figura 5.10. Sisteme de difuzoare cu filtre de separare de ordinul I.

Filtrele prezentate dau o atenuare de 6 dB/octavă în jurul frecvenței de separare. De obicei însă se folosesc filtre care au atenuări mai mari, cu mai multe inductanțe şi capacități (figura 5.11). În acest caz impedanța de intrare este egală cu impedanța unui difuzor, puterea de intrare împărțindu-se în mod egal între cele două difuzoare.

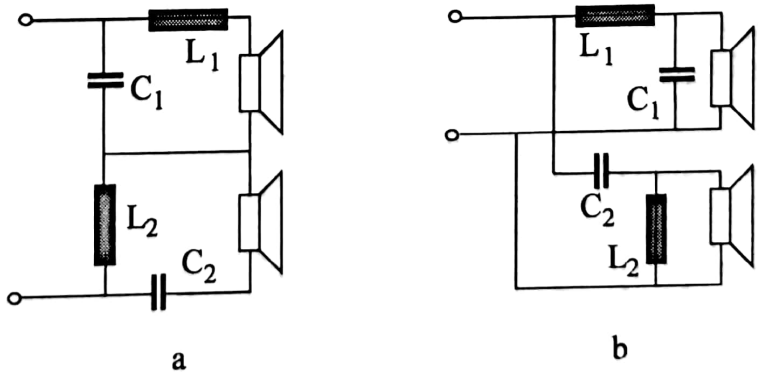


Figura 5.11. Sisteme de difuzoare cu filtre de separare de ordinul II.

Scanned with OKEN Scanner

$$L_1 = L_2 = \frac{|Z|}{2{,}82\pi f_C} \times 10^3 [\text{mH}]$$
$$C_1 = C_2 = \frac{1{,}41}{2,\pi f_C |Z|} \times 10^6 [\mu\text{F}] \qquad (5.4)$$

pentru figura 5.9.a şi respectiv:

$$L_1 = L_2 = \frac{1{,}41|Z|}{2\pi f_C} \times 10^3 \ [\text{mH}]$$
$$C_1 = C_2 = \frac{1}{2{,}82\pi f_C |Z|} \times 10^6 [\mu\text{F}] \qquad (5.5)$$

pentru varianta din figura 5.9.b.

Prin creşterea numărului de condensatoare şi bobine se poate creşte atenuarea la 18 dB/octavă (figura 5.12), dar, fiind mult mai complicate, se utilizează mai rar.

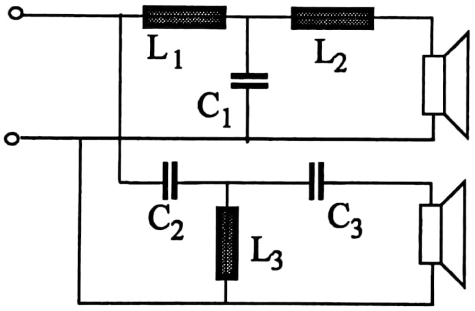


Figura 5.12. Sisteme de difuzoare cu filtru de separare de ordinul III.

Valorile componentelor se determină cu relaţiile:

$$L_1 = \frac{3|Z_1|}{2\pi f_C} \times 10^3 [\text{mH}] \quad C_1 = \frac{2}{3\pi f_C |Z_1|} \times 10^6 [\mu\text{F}]$$
$$L_2 = \frac{|Z_2|}{4\pi f_C} \times 10^3 [\text{mH}] \quad C_2 = \frac{2}{3\pi f_C |Z_2|} \times 10^6 [\mu\text{F}] \qquad (5.6)$$
$$L_3 = \frac{3|Z_2|}{8\pi f_C} \times 10^3 [\text{mH}] \quad C_3 = \frac{2}{3\pi f_C |Z_2|} \times 10^6 [\mu\text{F}]$$

Scanned with OKEN Scanner

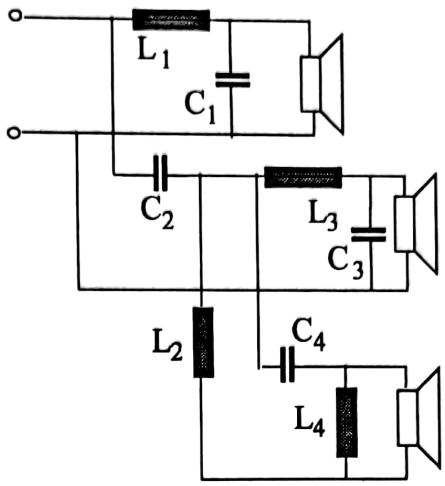


Figura 5.13. Sistem practic de difuzoare cu filtre de separare.

O caracteristică de frecvenţă mai uniformă într-o gamă mai largă de frecvenţe, precum şi distorsiuni de intermodulaţie mai mici prezintă sistemele de difuzoare cu filtre de separare pentru trei benzi de frecvenţă, în care se folosesc difuzoare separate pentru redarea frecvenţelor joase (FJ), frecvenţelor medii (FM) şi frecvenţelor înalte (FI).

Pentru impedanţe egale ale difuzoarelor, schema folosită este cea din figura 5.13, care constă din două filtre conectate în paralel. Primul filtru L_1C_1 permite trecerea spre difuzorul FJ a frecvenţelor $f<f_{C1}$. După trecerea prin filtrul L_2C_2 domeniul de frecvenţe $f>f_{C1}$ se împarte cu ajutorul filtrului L_3C_3 şi L_4C_4. Cele două perechi de filtre se calculează cu relaţiile 5.5 pentru f_{C1} şi f_{C2}.

În practică se folosesc şi sisteme mai simple, cu numai două benzi (o singură frecvenţă de separare), dar cu concentrarea unui difuzor pentru FI printr-un capacitor (figura 5.14.a) sau printr-un circuit serie (figura 5.14.b). Schema din figura 5.14.a prezintă dezavantajul unei anumite neuniformităţi a caracteristicii de frecvenţă în partea superioară a benzii audio, deoarece în această porţiune radiază atât difuzorul pentru FM, cât şi cel pentru FI.

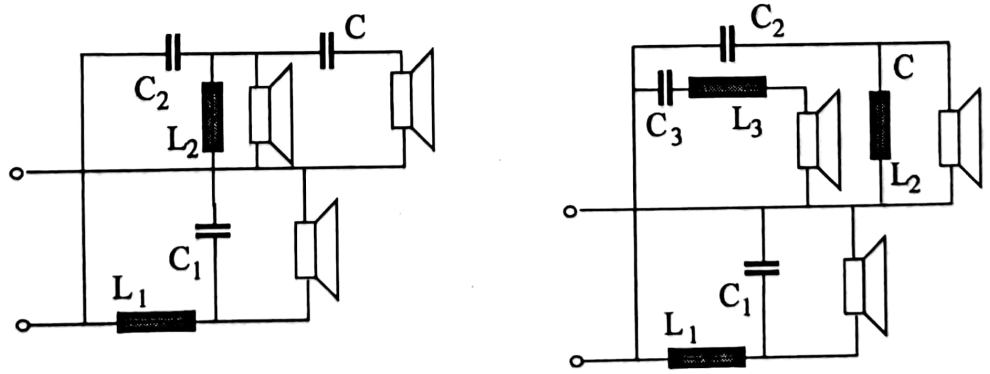


Figura 5.14. Soluţie pentru realizarea sistemelor de difuzoare cu două benzi.

Scanned with OKEN Scanner

Circuitul L_3C_3 din figura 5.14.b permite conectarea unui difuzor suplimentar pentru redarea frecvenţelor medii, compensând astfel scăderea eficienţei difuzorului principal în acest domeniu şi îmbunătăţind calitatea audiţiei. Elementele L_3 şi C_3 se determină din condiţia ca impedanţa la rezonanţă a circuitului serie, $\sqrt{\frac{L_3}{C_3}}$, să fie egală cu impedanţa difuzorului, şi anume:

$$L_3 = \frac{|Z|}{2\pi f_0} \times 10^3 [\text{mH}]$$
$$C_3 = \frac{10^6}{2\pi f_0 |Z|} \quad [\mu\text{F}], \qquad (5.7)$$

unde f_0 este frecvenţa de rezonanţă a circuitului, $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_3}}$.

Banda de trecere la 3 dB a circuitului serie depinde de rezistenţa difuzorului suplimentar, precum şi de valoarea elementelor circuitului. Prin alegerea adecvată a valorilor lui L_3 şi C_3, difuzorul suplimentar se foloseşte uneori pentru compensarea scăderii presiunii acustice a difuzorului principal în domeniul frecvenţelor joase, şi anume în apropierea frecvenţei de rezonanţa mecanică.

Există firme care împart spectrul audio în patru subgame (30-300 Hz, 300-1200 Hz, 1-12 kHz, 10-40 kHz), obţinând performanţe superioare în ceea ce priveşte nivelul distorsiunilor şi banda redată [42]. Aceste sisteme împart în mod egal puterea pe difuzoarele ce lucrează în benzi alăturate, adică reduc nivelul tensiunii cu 3dB. Această valoare este determinată de creşterea cu 3 dB a intensităţii câmpului acustic în cazul funcţionarii simultane a două difuzoare ce radiază sinfazic şi sunt excitate cu acelaşi nivel.

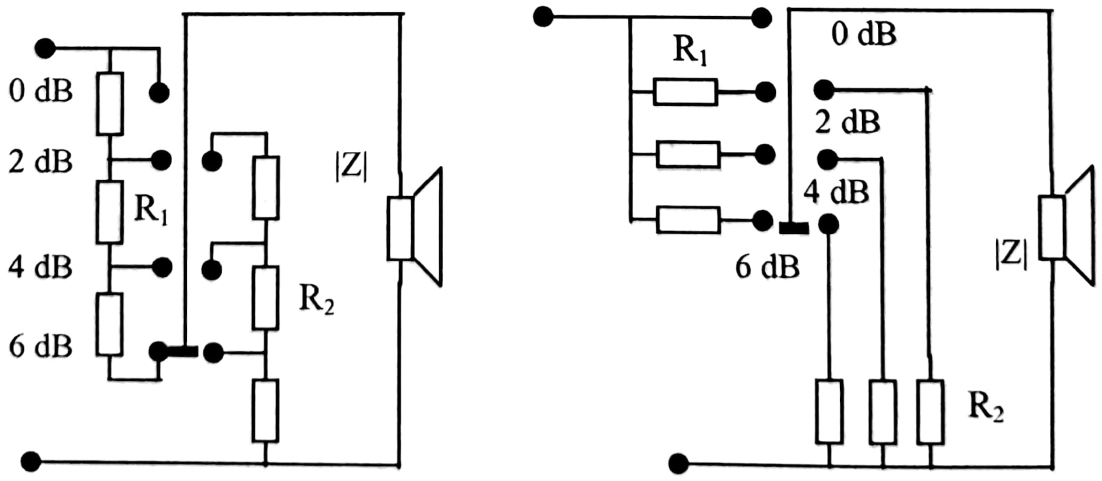


Figura 5.15. Sistem de atenuatoare pentru difuzoare.

Scanned with OKEN Scanner

În practică, apar diferenţe între presiunile acustice standard, create de difuzoare, fiind necesară uneori introducerea unor mici rezistenţe în filtrele de separare sau conectarea difuzoarelor pentru frecvenţe medii şi înalte prin intermediul unor atenuatoare (sistem de atenuatoare, figura 5.15). Acestea sunt constituite din rezistenţe de valori mici şi permit reglajul atenuării în trepte de câte 2 dB. Unei atenuări de 2 dB îi corespunde o cădere a tensiunii şi puterii acustice cu circa 20 %. Rezistoarele serie (R_1) sau paralel (R_2) se calculează cu relaţiile [3]:

$$R_1 = |Z|(1-K), R_2 = \frac{|Z|K}{1-K}, \qquad (5.8)$$

unde K reprezintă coeficientul de transfer al atenuatorului, corespunzător diferitelor poziţii ale comutatorului. Pentru atenuări de 2, 4, 6, 8 şi 10 dB ale atenuatorului, valorile lui K sunt 0,8, 0,63, 0,5, 0,4 şi respectiv 0,31.

Capacitoarele utilizate în filtre trebuie să fie nepolarizate, putându-se folosi şi condensatoare electrolitice dacă se conectează în aşa fel încât să se obţină unul nepolarizat [13].

La conectarea mai multor difuzoare în serie sau în paralel, sau în sisteme cu filtre de separare, trebuie luate măsuri ca acestea să creeze unde sonore cu aceeaşi fază (să lucreze sinfazic), adică, la aplicarea unei tensiuni cu o anumită polaritate, toate membranele să se deplaseze în aceeaşi direcţie. Condiţia se îndeplineşte uşor, dacă iniţial se verifică „polaritatea" fiecărui difuzor.

5.2. PANOURI ŞI INCINTE ACUSTICE

În funcţie de destinaţia concretă, difuzoarele se montează în diferite sisteme acustice, urmărindu-se prin aceasta atât protecţia şi prezentarea lor estetică, cât şi eliminarea efectelor undelor de spate şi îmbunătăţirea caracteristicii de frecvenţă.

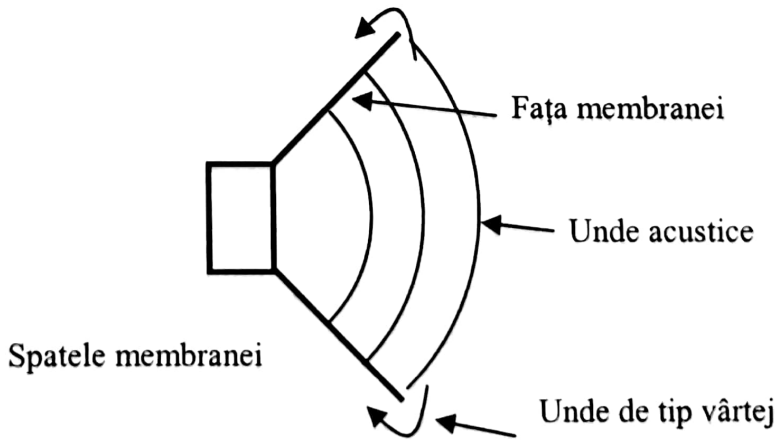


Figura 5.16. Fenomenul de egalizare al presiunilor faţă spate.

Scanned with OKEN Scanner

Analiza funcționarii difuzorului ca radiator acustic ne relevă faptul că acesta produce undele sonore prin vibrații ale membranei. Dacă în fața membranei are loc o creştere a presiunii aerului, în spatele acesteia are loc o scădere a presiunii. În realitate fenomenul nu este atât de simplu, deoarece la marginea membranei cele două presiuni tind să se egalizeze rezultând unde de tip vârtej (figura 5.16), ceea ce conduce la diminuarea presiunii acustice.

Aşa cum am văzut, undele sonore create de difuzor în faţa şi în spatele difuzorului sunt defazate cu 180°, defazaj ce corespunde unei diferențe de drum de $\lambda/2$. Cele două tipuri de undă prin interacțiunea dintre ele pot conduce la anularea câmpului sonor (mai ales la frecvențe joase, sub 300 Hz), atunci când dimensiunile membranei sunt mai mici decât lungimea de undă. Pentru a compensa acest lucru şi a obține de la difuzor o intensitate sonoră maximă este necesară aplicarea unei puteri mărite bobinei mobile a difuzorului. Puterea ce se poate aplica difuzorului este însă limitată fie de deteriorarea membranei şi a părților elastice de centrare, fie de arderea conductorului bobinei mobile. Din acest motiv puterea maximă a difuzoarelor este limitată. În scopul diminuării interferențelor ce apar între undele de față şi cele de spate s-au realizat: panourile acustice şi incintele acustice.

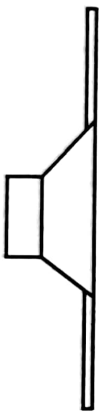


Figura 5.17. Panou acustic.

5.2.1. PANOURI ACUSTICE

La frecvențe joase apare o egalizare a presiunilor față-spate la marginea membranei difuzorului (efectul de vârtej), reducându-se capacitatea de reproducere a frecvențelor joase. În acest scop trebuie mărit drumul față-spate, lucru ce se realizează practic cu ajutorul panourilor şi incintelor acustice.

Un exemplu practic de realizare a ameliorării redării frecvențelor joase este prezentat în figura 5.17. Panoul pe care s-a montat difuzorul va lungi drumul față-spate, împiedicând egalizarea presiunilor.

Suprafața acestor panouri creşte o dată cu scăderea frecvenței ce se doreşte a fi ameliorată (pentru 30 Hz dimensiunile panoului ar trebui să fie 12×12 m, imposibil de realizat).

Panourile pot fi pătrate, dreptunghiulare sau circulare, iar în funcție de poziția de montare a difuzorului pot fi simetrice, difuzorul este montat în centrul panoului, sau asimetrice, difuzorul este montat excentric.

În cazul montării simetrice, deoarece între undele aflate de cele două parți ale panoului se stabilesc interferențe, caracteristica poate avea importante diferențe de

Scanned with OKEN Scanner

nivel (figura 5.18(1)). Montarea asimetrică împiedică obţinerea interferenţelor distructive, conducând la obţinerea caracteristicii din figura 5.18(2) [13].

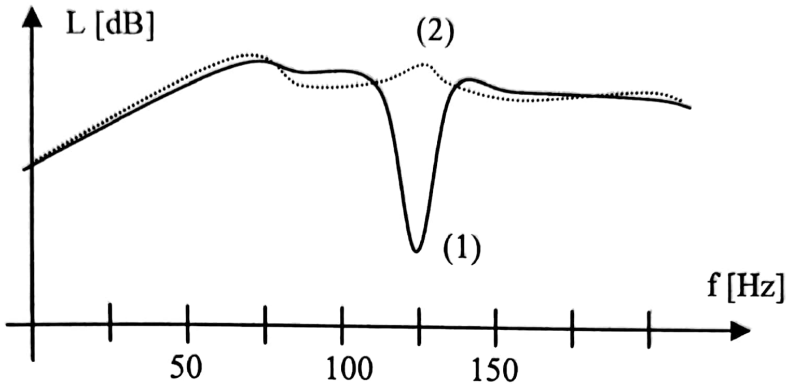


Figura 5.18. Relaţia nivel-sunet-frecvenţă pentru diferite poziţii de montare a difuzorului pe panoul acustic.

Datorită dimensiunilor mari şi destul de greu de folosit în practică, panourile acustice au fost înlocuite cu incintele acustice, care pot fi considerate ca nişte panouri acustice modificate.

5.2.2. INCINTE ACUSTICE

Modificarea frecvenţei proprii de rezonanţă a difuzorului este în funcţie de doi factori:

- mărimea volumului incintei,
- dimensiunea suprafeţei membranei.

Ţinând cont de aceasta, putem face următoarea remarcă: cu cât volumul incintei este mai mare şi suprafaţa membranei mai mică, cu atât modificarea frecvenţei de rezonanţă va fi mai mică. Situaţia cea mai defavorabilă este atunci când avem montat un difuzor mare într-o incintă de volum mic.

Difuzoarele cu suprafaţa mică a membranei şi cu frecvenţa de rezonanţă mică dau rezultate satisfăcătoare şi în incinte de volum mic, dar din cauza suprafeţei foarte mici randamentul acestora este foarte mic.

a. INCINTE ACUSTICE DESCHISE

Incintele acustice deschise se întâlnesc destul de frecvent în practică, spre exemplu la majoritatea radioreceptoarelor şi televizoarelor. Funcţionarea acesteia depinde de dimensiunile sale, incinta comportându-se ca un rezonator Helmoltz [38], fiind caracterizată de frecvenţa proprie de rezonanţă dată de relaţia:

$$f_0 = 5460\frac{\sqrt[4]{S}}{\sqrt{V}}[\text{Hz}], \qquad (5.9)$$

Scanned with OKEN Scanner

în care S este suprafața deschiderii din spate (cm^2), iar V volumul incintei (cm^3).

Experiențele au arătat că rezultatele cele mai bune în redarea frecvențelor joase se obțin dacă frecvența de rezonanță a incintei este de 1,2 ÷ 3 ori mai mare decât frecvența de rezonanță proprie a difuzorului. Cum frecvențe de rezonanță mici se obțin numai pentru incinte mari, îmbunătățirea rezultatelor este posibilă numai în condițiile în care poziția de fixare este excentrică.

b. INCINTE ACUSTICE ÎNCHISE

Prin închiderea spațiului incintei se înlătură posibilitatea interferențelor dintre undele produse de difuzor, în schimb mediul elastic din interiorul incintei acționează asupra membranei. Teoretic, prin creşterea incintei, se poate obține un volum în aşa fel încât masa de aer închisă să nu creeze forțe antagoniste, care ar putea modifica frecvența de rezonanță.

Deoarece pentru stabilirea dimensiunilor incintei este necesară cunoaşterea forței elastice a suportului membranei, care nu este o mărime uşor de măsurat, se foloseşte în acest sens relația:

$$V \geq 125D^2 \ [\text{cm}^3], \tag{5.10}$$

unde D reprezintă diametrul membranei difuzorului în cm.

Dacă în aceeaşi incintă se montează două sau mai multe difuzoare cu diametrele D_1, D_2, etc., în relația de mai sus se foloseşte „diametrul echivalent“:

$$D_e = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + \ldots .} \tag{5.11}$$

Pentru difuzoare identice rezultă D_e=1,41 D.

În ceea ce priveşte valorile dimensiunilor incintelor paralelipipedice, se recomandă ca între dimensiunile laturilor să existe rapoartele 1:1,41:2, asigurându-se astfel o bună stabilitate cu un aspect plăcut, şi un volum al incintei de 2,82 A^3, unde A este latura mică a incintei.

Pe lângă modificările frecvenței de rezonanță a difuzorului la frecvențe mari, volumul de aer închis în incintă creează şi rezonanțe secundare, care contribuie la mărirea neuniformității în frecvență. În acest scop pereții incintei sunt căptuşiți cu un strat fonoabsorbant din vată sau material spongios, care contribuie şi la înlăturarea undelor staționare.

De asemenea, trebuie evitată intrarea în vibrație a pereților exteriori, motiv pentru care se rigidizează cât mai mult aceşti pereți.

Față de aceste dezavantaje, incintele acustice închise sunt destul de răspândite, explicația fiind reproductibilitatea şi construcția relativ simplă, deoarece nu necesită reglaje speciale.

Scanned with OKEN Scanner

c. INCINTE ACUSTICE CU DESCHIDERI REFLEX

Principiul utilizat de incintele acustice cu deschidere este acela că prin reflexie undele sonore îşi schimbă faza cu 180°. Ca urmare, prin practicarea unei fante în incinta închisă, proprietăţile acustice iniţiale se modifică, deoarece fanta practicată se comportă ca un difuzor. Cele mai cunoscute incinte cu deschidere reflex sunt incintele bas-reflex, cunoscute şi sub denumirea de incinte cu inversor de fază.

Dimensiunile deschiderilor se calculează în aşa fel încât frecvenţele proprii de rezonanţă să fie egale cu frecvenţa de rezonanţă a difuzorului liber f_r. În acest fel, atunci când frecvenţa scade sub frecvenţa de rezonanţă a difuzorului, apropiindu-se de frecvenţa de rezonanţă a ferestrei, câmpul creat de fantă devine semnificativ faţă de câmpul radiat de difuzor. Datorită funcţionarii sinfazice a celor două difuzoare, incinta bas-reflex creează un câmp aproximativ constant până la frecvenţa f_r.

Dacă frecvenţa scade sub f_r, atunci câmpurile sunt mici şi în antifază, ceea ce determină scăderea rapidă a amplitudinii câmpului total. Îmbunătăţirea performanţelor incintelor se face prin realizarea unor tunele cu secţiunea circulară sau dreptunghiulară.

Prin construcţia lor corectă incintele bas-reflex contribuie la îmbunătăţirea caracteristicii la frecvenţe joase şi la micşorarea distorsiunilor neliniare ale difuzoarelor ce apar în jurul frecvenţei de rezonanţă mecanică. Pe lângă acestea se remarcă o îmbunătăţire a variaţiei impedanţei cu frecvenţa [14], în sensul că amplitudinea variaţiei este mai mică decât în cazul difuzoarelor libere sau al incintelor închise. Exemple de realizare a incintelor bas-reflex sunt prezentate în figura 5.19.

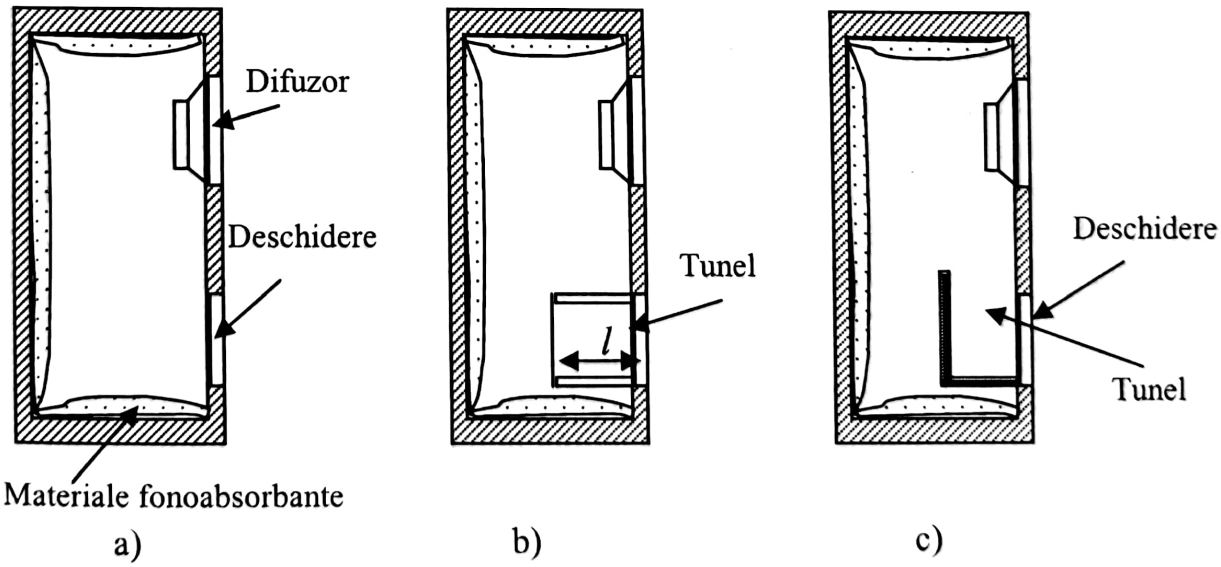


Figura 5.19. Incinte bas – reflex: a) cu fantă, b) cu tunel, c) cu tunel şi fantă.

Pentru calculul incintelor bas-reflex trebuie cunoscute cu exactitate următoarele mărimi: frecvenţa de rezonanţă, elasticitatea şi masa sistemului mobil, diametrul

Scanned with OKEN Scanner

bobinei etc. Deschiderea are o suprafață de 20÷40% din suprafața difuzorului, putând ajunge la 75% în cazul utilizării tunelelor de trecere.

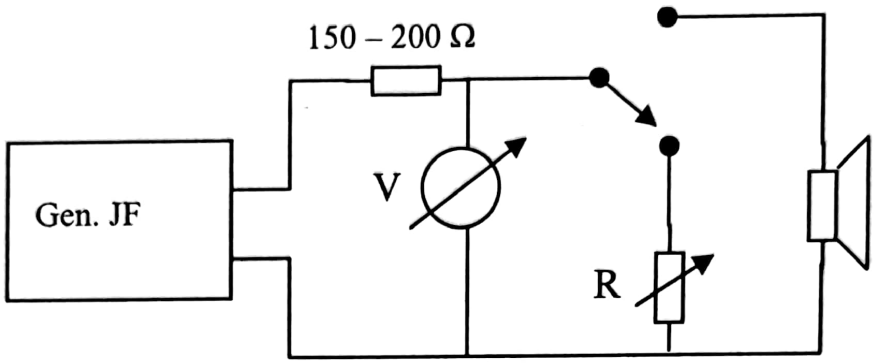


Figura 5.20. Montaj pentru măsurarea impedanței unui difuzor.

Dacă se notează cu K raportul dintre lungimea și lățimea ferestrei, volumul incintei poate fi calculat cu relația:

$$V = \frac{5460^2 \times S \times K^{0,12}}{f_r^2\left(L + \sqrt{S}\right)} \left[\text{cm}^3\right], \qquad (5.12)$$

unde L este lungimea tunelului, iar S suprafața ferestrei.

Incinta se poate acorda simplu, prin folosirea unei bucăți de placaj cu care se obturează deschiderea. Rezonanța se determină în funcție de valoarea rezistenței măsurată cu montajul din figura 5.20.

d. INCINTĂ ACUSTICĂ CU LABIRINT

Incinta acustică cu labirint utilizează proprietățile de propagare a undelor într-un tub cu lungimea egală cu $\lambda/4$. Astfel pentru presiunea acustică și viteza de propagare se obțin următoarele forme de undă, figura 5.21 [8]. Pentru frecvențele care satisfac această situație se realizează o valoare scăzută a impedanței acustice la capătul deschis și o valoare ridicată la capătul închis, și, de asemenea, se obține aceeași fază cu cea a undelor produse de difuzor.

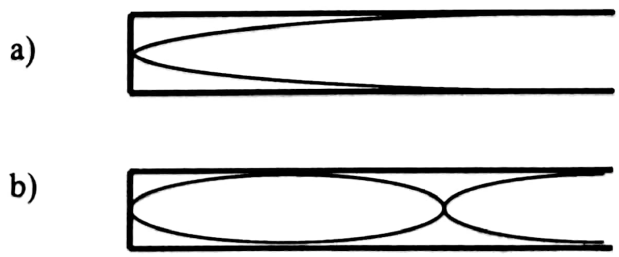


Figura 5.21. Modul de variație al vitezei undei acustice într-un tub închis la un capăt:
a) fundamentală, b) prima armonică.

Scanned with OKEN Scanner

Deci, şi în această situaţie, la fel ca şi în cazul incintelor bas-reflex, se realizează îmbunătăţirea răspunsului la frecvenţe joase, cu mijloace diferite:

- rezonatorul Helmholtz pentru incintele bas-reflex,
- tubul acordat pentru incintele cu labirint acustic.

Ceea ce trebuie observat este că principiul tubului acordat este valabil pentru toate frecvenţele care satisfac egalitatea:

$$l = (2n+1)\frac{\lambda}{4}, \qquad (5.13)$$

în care l este lungimea tubului.

Pentru toate aceste frecvenţe (care sunt de fapt armonicele impare ale fundamentalei corespunzătoare lui n=0), se produc o serie de rezonanţe care introduc denivelări accentuate în răspunsul cu frecvenţă al ansamblului difuzor-incintă.

Evitarea neajunsurilor se poate realiza prin:

- căptuşirea pereţilor tubului cu material absorbant,
- schimbările de direcţie a tubului, specifice incintelor cu labirint (figura 5.22).

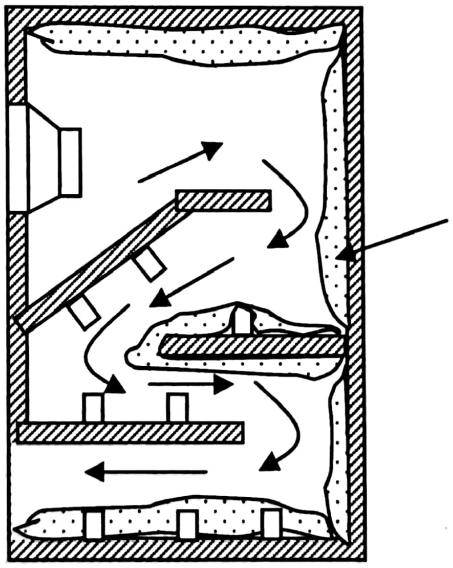


Figura 5.22. Labirint acustic.

Pentru determinarea lungimii labirintului se utilizează relaţia 5.13, în care n=0. Rayleigh a demonstrat [8] că în cazul unei secţiuni cilindrice a tubului trebuie aplicată o corecţie, care constă în mărirea lungimii cu o valoare egală cu 0,82 r_t (r_t este raza tubului).

e. INCINTE ACUSTICE CU PÂLNIE

Folosirea pâlniilor acustice realizează adaptarea a doua impedanţe acustice diferite şi, de asemenea, îmbunătăţeşte randamentul difuzorului. Dacă lungimea de undă este mai mică decât lungimea pâlniei se produce reflexia.

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea pâlniilor poate fi conică sau exponențială, cele exponențiale având avantajul că sub o anumită frecvență impedanța de radiație este ridicată și constantă. Unul dintre avantajele acestei pâlnii este acela că în interiorul ei nu se creează unde staționare.

Dezavantajul major al acestor incinte este faptul că nu este posibilă transmiterea întregii benzi audio datorită următoarelor cauze:

- apariția de distorsiuni inadmisibile pentru frecvențe ridicate (peste 10 kHz),
- necesitatea sinfazării tuturor frecvențelor la intrarea în pâlnie (lucru ce nu este posibil în cazul frecvențelor înalte).

5.3. CĂȘTI ACUSTICE

Căștile acustice utilizate în tehnica sunetului trebuie să fie de bună calitate, pentru a nu denatura parametrii semnalului respectiv. Audierea programelor sonore cu ajutorul căștilor acustice dă cu totul alt rezultat față de redarea cu difuzoare. Diferența majoră constă în aceea că influențele negative ale mediului dispar, ceea ce asigură o fidelitate excelentă a programului.

Căștile utilizate în diferite scopuri se pot împărți în:

- căști dinamice cu membrană de celuloză,
- căști dinamice cu membrană din mase plastice,
- căști electrostatice,
- căști cu cristale piezoelectrice,
- căști dinamice cu membrană metalică,
- căști dinamice telefonice.

În tehnica sunetului sunt utilizate în principiu căștile dinamice cu membrană de celuloză, care sunt de fapt niște difuzoare în miniatură și asigură o bandă de redare suficient de mare, celelalte tipuri fiind utilizate pentru alte domenii în comunicații.

Dacă cu difuzoarele în scopul redării benzii de frecvențe audio se pot realiza sisteme multicăi, în cazul căștilor acest lucru nu mai este posibil, motiv pentru care există o deosebire de sonoritate.

Pentru îmbunătățirea redării frecvențelor joase la căștile acustice (care sunt de altfel și problemele difuzoarelor) există două căi, și anume:

- micșorarea la minimum a masei de aer din fața membranei căștii, prin formarea așa-zisului gol acustic între membrană și ureche,
- practicarea unor orificii în cutia din spatele membranei, realizându-se așa-numitele „căști respiratoare".

În general, căștile acustice de bună calitate au banda de redare de 40 ÷ 20.000 Hz, cu o abatere de ± 8 dB, și, în ciuda efectului Doppler cauzat de dimensiunile fizice ale membranei (care este foarte mică), sunt preferate oricărui sistem de difuzoare.

Scanned with OKEN Scanner

Atunci când sunt utilizate pentru controlul semnalelor în diferite puncte ale lanţului fonic, sunt preferate căştile piezoelectrice datorită impedanţei ridicate care nu influenţează lanţul de transmisie.

Căştile electrostatice sunt recomandate în cazurile în care este necesară conectarea în paralel pe ieşirea amplificatorului, fără a dispune de un distribuitor rezistiv, cu toate că sunt de o calitate mai scăzută şi fragile din punct de vedere mecanic.

5.4. ALIMENTAREA DIFUZOARELOR

Pentru alimentarea difuzoarelor, a căror impedanţă este în jurul valorii de 8 Ω, este necesară existenţa unui cablu a cărui rezistenţă să nu depăşească 0,08 Ω. În general, cablurile de alimentare sunt de aproximativ 0,012 Ω/m, ceea ce conduce la pierderi însemnate de putere atunci când lungimea acestora creşte.

Din acest motiv soluţia o reprezintă utilizarea unor cabluri de lungime cât mai mică sau a liniilor de 100 V. Liniile de alimentare de 100 V s-au dezvoltat pentru a putea fi utilizate linii de alimentare lungi cu scăderea puterii pierdute pe acestea.

Problema principală ce trebuie rezolvată în condiţiile necesităţii utilizării cablurilor lungi constă în creşterea raportului dintre impedanţa difuzorului şi impedanţa firelor de legătură. Din acest motiv se utilizează transformatoare de cuplaj care conduc la creşterea impedanţei aparente a difuzorului. Principiul sistemului este prezentat în figura 5.23 [33].

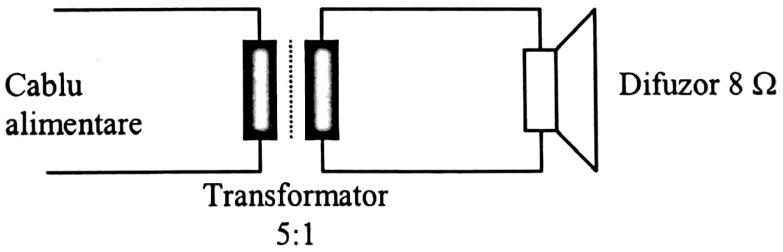


Figura 5.23. Sistem de alimentare cu transformator.

Astfel, dacă ieşirea transformatorului se conectează la un difuzor a cărui impedanţă este 8 Ω, impedanţa ce se reflectă în primarul acestuia este proporţională cu pătratul raportului de transformare adică:

$$Z_E = 25 \times 8 = 200\ \Omega. \qquad (5.14)$$

Deoarece impedanţele de ieşire ale amplificatoarelor sunt de asemenea scăzute, sistemul de alimentare pentru linii de 100 V poate avea structura din figura 5.24 [24].

Scanned with OKEN Scanner

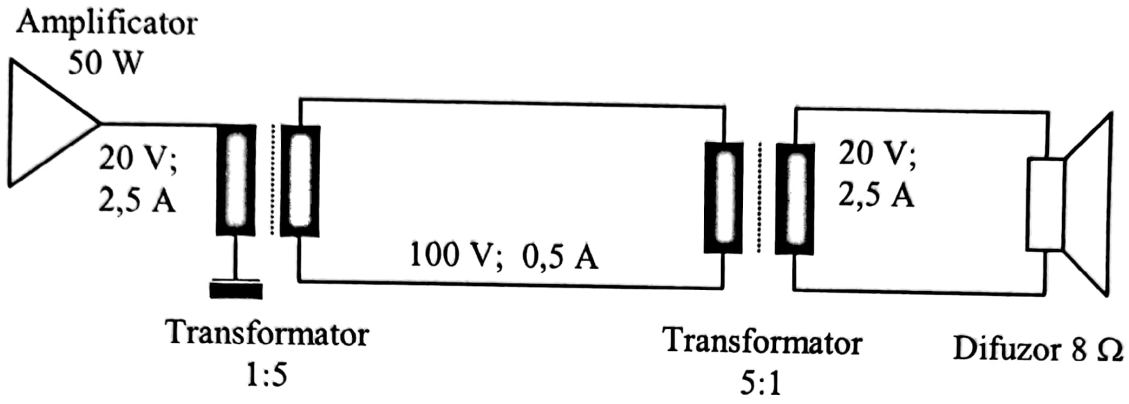


Figura 5.24. Sistem de alimentare al difuzoarelor cu linie de 100 V.

Astfel transformatoarele de linie ale difuzoarelor au posibilitatea alegerii puterii de intrare (30 W, 20 W, 10 W, 2 W) şi a impedanţei difuzorului (15, 8 sau 4 Ω). Alegerea în acest caz înseamnă posibilitatea conectării mai multor difuzoare de-a lungul liniei (fiecărui difuzor corespunzându-i un transformator) în condiţiile în care puterea existentă este suficientă.

Toate liniile lucrează la tensiune de 100 V, iar în general puterea amplificatorului este de 100 W, pentru a putea asigura conectarea de difuzoare suficiente.

Aceste linii nu sunt utilizate în toate instalaţiile din două motive, şi anume: tensiunea este suficient de mare, ceea ce poate crea pericole de accidente şi calitatea sunetului este compromisă de prezenţa transformatoarelor. Din acest motiv astfel de sisteme nu se utilizează în instalaţiile casnice şi nici în sistemele de înaltă fidelitate sau la monitorizarea în studiouri.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 6

MIXERE AUDIO

6.1. INTRODUCERE

Prelucrarea semnalelor furnizate de diferite surse sonore reprezintă partea cea mai importantă a procesului tehnologic de producere şi înregistrare a semnalelor acustice. Dintre cele mai importante operaţii pe care le presupune faza de prelucrare a semnalului putem aminti: amplificarea, controlul şi corecţia parametrilor, dozarea, introducerea de efecte sonore, distribuţia etc. În funcţie de numărul semnalelor ce trebuie prelucrate sunt necesare instalaţii mai mult sau mai puţin complexe. Unul dintre echipamentele indispensabile în faza de prelucrare este mixerul (masa de montaj) audio.

În cea mai simplă formă, mixerul audio combină câteva semnale de intrare într-un singur semnal de ieşire. Acest lucru nu poate fi obţinut printr-o simplă conectare în paralel a tuturor surselor de semnal, întrucât acestea se pot influenţa reciproc conducând la deteriorarea semnalului.

În practică un mixer realizează mai multe funcţii decât simpla combinare a unor semnale de intrare. Cele mai importante funcţii ale unui mixer audio sunt [5]:

- Să amplifice semnalele de nivel redus, de la surse cum ar fi microfoanele, ale căror nivele sunt de ordinul 1mV (sau chiar mai puţin), până la nivelul de 0 dB echivalent cu 0.775 V, care este utilizat la transmisia pe linie. În acelaşi timp trebuie să poată prelucra (atenua) semnale de nivel ridicat obţinute de la alte surse, cum ar fi: magnetofoane, casetofoane, CD, DAT, MiniDisc etc.
- Să asigure alimentarea cu tensiunea fantomă a microfoanelor condensator.
- Să asigure, acolo unde este nevoie, egalizarea, limitarea sau compresia semnalului.
- Să permită accesul la prelucrări suplimentare a sunetelor (de exemplu: reverberaţii artificiale).
- Să permită reglajul independent al nivelului fiecărei surse de semnal audio.
- Să permită schimbul de semnale auxiliare cu echipamentele cu care este conectat.

Scanned with OKEN Scanner

- Să permită monitorizarea semnalului.
- Să poată asigura distribuția semnalului audio spre studio sau spre alte echipamente (difuzoare suplimentare de ascultare), fără a afecta semnalul de ieşire principal. De cele mai multe ori această facilitate presupune o ieşire separată față de cea principală.
- Să permită controlul panoramării fiecărei surse de sunet (reglajul poziției acesteia față de centrul imaginii sonore în cazul redării stereofonice).
- Să permită schimburi de semnale audio cu alte studiouri aflate la distanță.
- Să facă posibilă gruparea diferitelor surse pentru o mai uşoară manipulare a lor.
- Să permită atât monitorizarea audio (ieşiri pentru difuzoare si căşti), cât şi vizuală (nivel-metre) a semnalului.
- Să asigure controlul total al nivelului.
- Să asigurare comunicarea în cadrul studioului cu alți membri ai echipei ce se află în alte încăperi.

În general, la ora actuală se poate vorbi despre două tipuri de mixere, şi anume: mixere analogice la care prelucrarea şi transportul semnalului se face sub formă analogică si mixere numerice la care prelucrarea şi transportul semnalului se face sub formă numerică. Acestea din urmă au atât intrări de semnal analogice, cât şi numerice.

Un mixer poate pot fi descris prin numărul de intrări şi ieşiri pe care le are sau prin numărul de intrări, subgrupuri si ieşiri. De exemplu, un mixer 8 × 2 are 8 intrări şi 2 ieşiri; un mixer 16 × 4 × 2 are 16 intrări, 4 submixaje şi 2 ieşiri principale. De obicei, mixerele sunt constituite din 3 secțiuni:

- secțiunea de intrare,
- secțiunea de ieşire,
- secțiunea de monitorizare.

6.2. STRUCTURA ECHIPAMENTELOR DE MIXARE AUDIO

6.2.1. MODULE DE INTRARE

Un mixer este alcătuit din mai multe module, fiecare secțiune conținând module specifice funcției. Modulele de intrare sunt identice, fiecare dintre ele controlând un singur semnal. Cu cât este mai mare numărul de intrări, cu atât este mai mare numărul de instrumente sau semnale ce pot fi mixate. Un model tipic al unui modul de intrare este prezentat în figura 6.1.

Selectorul de intrare - selectează care cale este activă la intrarea modulului. Practic la intrarea modului se poate conecta un microfon, un instrument muzical sau o

Scanned with OKEN Scanner

ieşire a unui echipament de redare (magnetofon, casetofon etc.). Conectarea se realizează cu ajutorul mufelor de tip XLC pentru microfoane sau a mufelor de tip RCA pentru semnal de linie de la instrumente sau echipamente de redare.

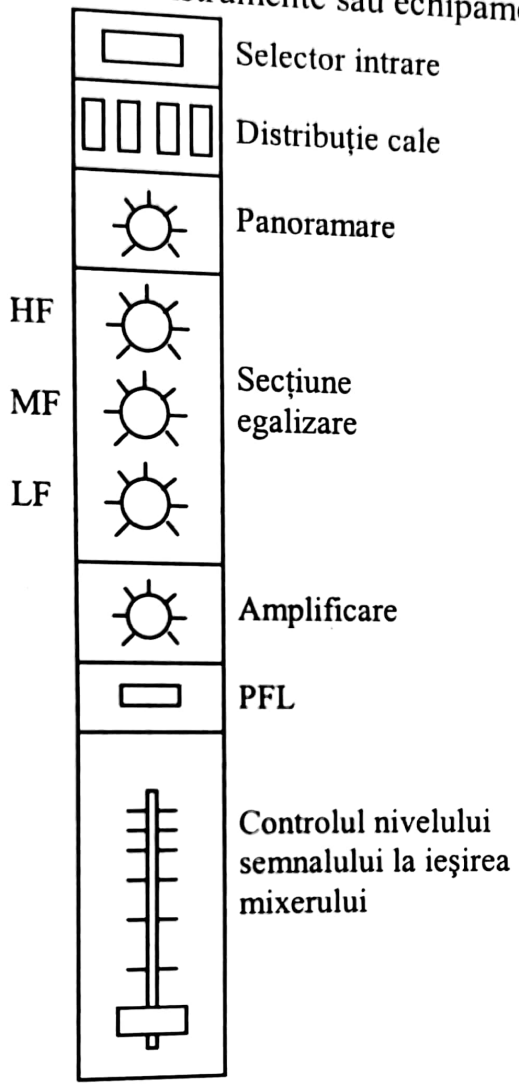


Figura 6.1. Modelul modulului de intrare.

Distribuţia căii permite selectarea pistei pe care va fi înregistrat semnalul în cazul în care se utilizează mixerul pentru o înregistrare multipistă. De obicei, acest bloc de comutatoare se utilizează în combinaţie cu potenţiometrul de panoramare.

Panoramarea este un potenţiometru ce permite poziţionarea semnalului de intrare în difuzorul din stânga sau în cel din dreapta.

Secţiunea de egalizare (EQ) asigură reglarea calităţii tonalităţii semnalului de ieşire prin intervenţia asupra diferitelor frecvenţe din spectrul semnalului. Intervenţia se realizează prin atenuarea sau creşterea nivelului frecvenţelor joase, medii şi înalte într-un domeniu de ± 15 dB.

Scanned with OKEN Scanner

Amplificarea reprezintă reglajul preamplificatorului în aşa fel încât acesta să nu fie distorsionat.

PFL (Pre Fade Listen) permite ascultarea semnalului (supravegherea) fără ca acesta să ajungă la ieşirile principale ale mixerului.

Controlul nivelului la ieşirea modulului asigură reglarea nivelului de înregistrare a semnalului, precum şi ponderea acestuia în semnalul de ieşire al mixerului.

În figura 6.2 este prezentată schema bloc simplificată a traseului de prelucrare a semnalului în modulul de intrare.

Amplificatorul de intrare are rolul de a compensa diferența de sensibilitate a microfoanelor sau a altor surse de semnal. Cu ajurorul reglajului se elimină eventualele distorsiuni ce apar datorită depăşirii nivelului semnalului. Intrarea figurată este doar pentru semnale de nivel mic (microfoane). Pentru niveluri ridicate ale semnalului, acesta se introduce mai întâi într-un atenuator de –55 –80 dB, pentru ca nivelul acestuia să corespundă cu nivelul unei surse de semnal mic.

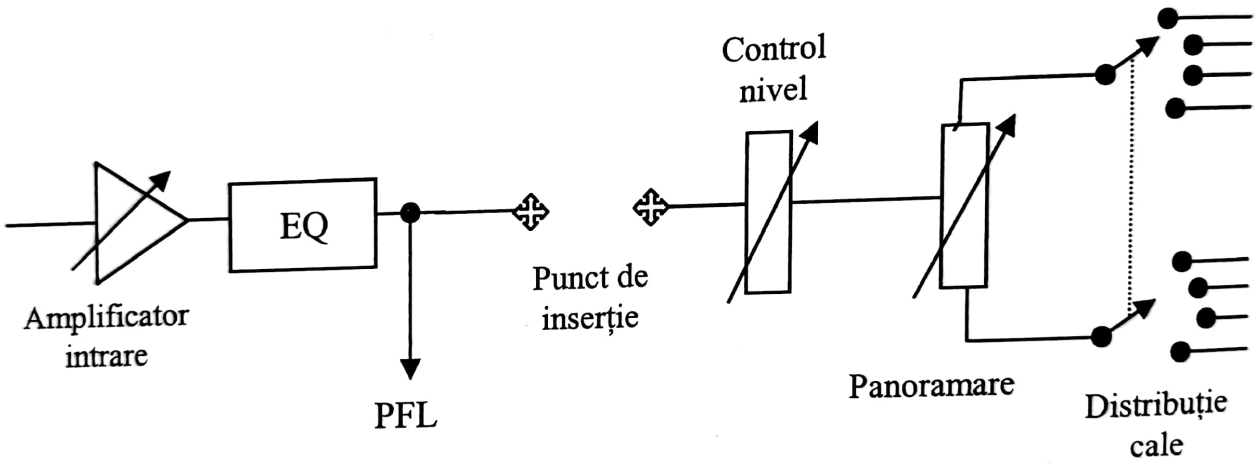


Figura 6.2. Schema bloc simplificată a prelucrării semnalului.

La unele mixere este posibil ca înaintea egalizarii semnalului, să poată fi introdusă o inversare a fazei. Rolul acestui circuit este acela de a corecta efectele de inversare a fazei datorate transmisiei sau ieşirii echipamentelor.

Punctul de inserție permite conectarea unui echipament de prelucrare exterior, cum ar fi: limitator, compresor, egalizor grafic, linie de întârziere etc.

Aşa cum aminteam la prezentarea blocului de intrare, distribuția canalelor ne ajută la dirijarea fiecărei surse de semnal pe pista de înregistrare pe care o dorim. Există însă sisteme de mixare cu 50 căi de intrare, în acest caz blocul de distribuție permițând divizarea acestora în grupuri care pot fi astfel manipulate mai uşor, deoarece fiecare grup necesită un singur reglaj. În acest caz blocul de distribuție al semnalelor permite dirijarea fiecărei intrări către grupul corespunzător. Această

Scanned with OKEN Scanner

grupare a canalelor permite evidenţierea unui grup de instrumente în cazul unui concert, cu efectuarea unui minim de operaţii.

6.2.2. GRUPAREA CANALELOR

Gruparea, în cazul mixerelor, se referă la controlul simultan al mai multor canale. În mod uzual aceasta presupune controlul nivelului mai multor canale numite „sclav" cu ajutorul unui singur element de reglaj. La realizarea mixerelor există două soluţii, şi anume: gruparea audio şi gruparea controlului. Cea de-a doua soluţie mai este cunoscută şi sub denumirea de gruparea cu control în tensiune a amplificării VCA (Voltage Controlled Amplifiers). Cele două abordări au rezultate complet diferite cu toate că ele apar ca fiind identice datorită faptului că se realizează controlul mai multor canale cu ajutorul unui singur potenţiometru.

a. GRUPAREA AUDIO

Denumirea acestui tip de grupare vine de la faptul că se creează un singur semnal audio, care este suma mai multor canale. Un singur potenţiometru controlează nivelul sumei semnalelor obţinute prin mixarea efectivă a semnalelor într-un grup (figura 6.3).

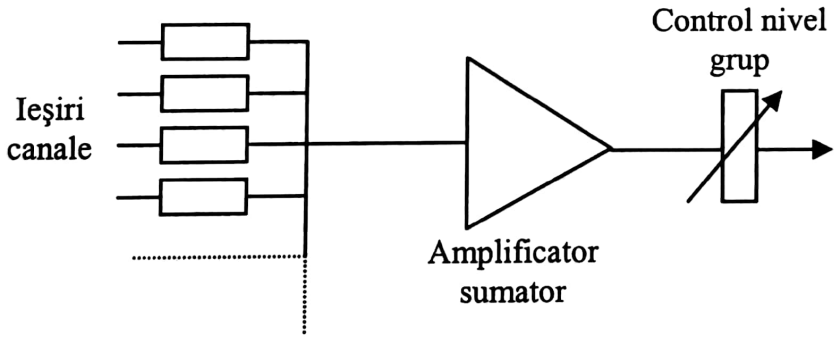


Figura 6.3. Realizarea grupării audio.

După cum se observă, ieşirea fiecărui canal este aplicată prin rezistenţe identice amplificatorului sumator, obţinându-se astfel un semnal care conţine în mod egal informaţii referitoare la canalele componente.

Astfel, putem considera că ieşirea unui mixer stereo este o grupare audio, una pentru canalul stâng şi una pentru canalul drept, dacă ea reprezintă o sumă a tuturor semnalelor ce sunt transmise spre ieşirea stereo şi include un control general al nivelului. Utilizând aceeaşi logică, o magistrală multipistă a unei console reprezintă un sistem de grupare audio dacă realizează însumarea tuturor semnalelor transmise pe acele piste.

Sistemele de mixare vechi realizează gruparea a patru canale, iar cele mai moderne pot realiza gruparea până la opt canale de intrare. După obţinerea

Scanned with OKEN Scanner

subgrupurilor, acestea sunt grupate într-o singură pistă, fie prin alternarea conectării acestora la magistrala de mixare (figura 6.4), fie prin panoramarea acestora pe cele două canale ale magistralei de mixare.

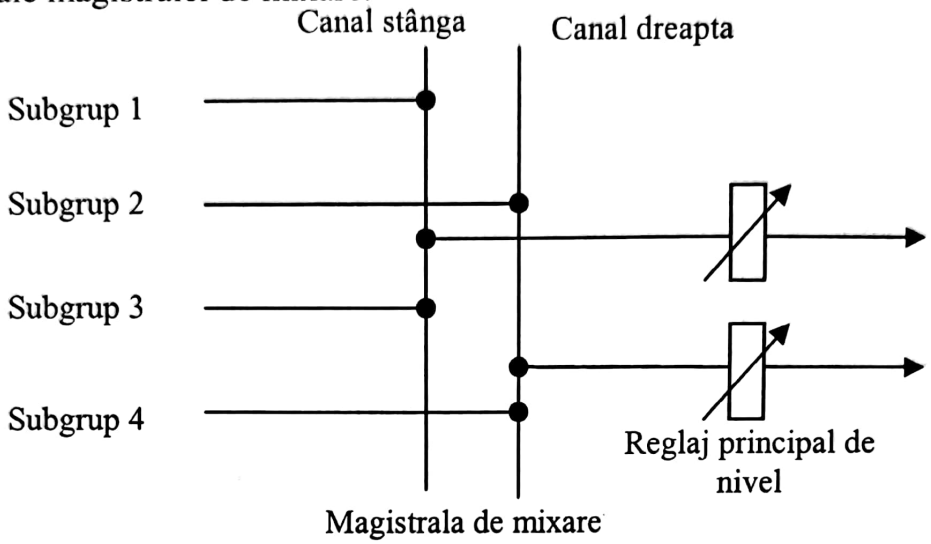
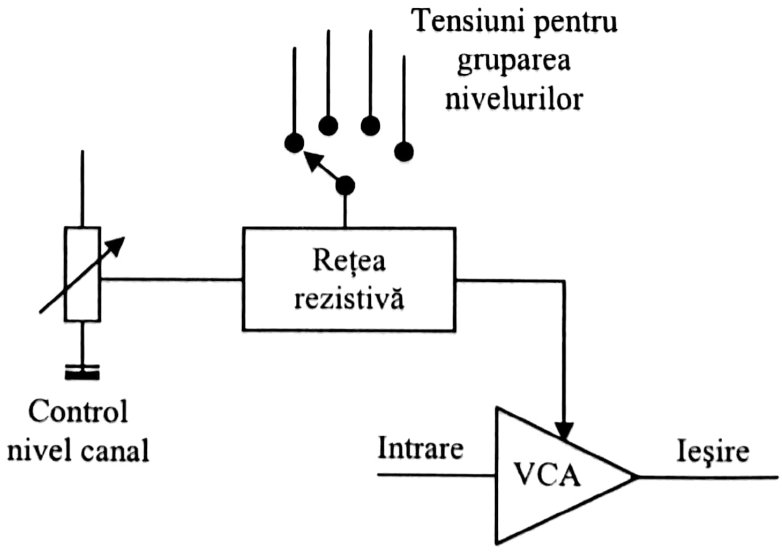


Figura 6.4. Obținerea semnalului de ieşire în cazul utilizării grupurilor audio.

b. GRUPAREA VCA

Acest tip de grupare diferă față de cea precedentă în principal datorită faptului că nu creează o sumă a semnalelor, ci realizează un control comun al nivelurilor semnalelor pastrând ieşirile lor separate. Gruparea poate fi asemănată ca efect cu cel obținut prin modificarea simultană a tuturor nivelurilor.

Cea mai uzuală metodă de obținere a acestui tip de grupare este utilizarea de amplificatoare operaționale cu câştig controlabil printr-o tensiune continuă. Astfel semnalul nu trece prin sistemul de reglare a nivelului propriu-zis, ci printr-un amplificator al cărui câştig este reglat de tensiunea continuă proporțională cu poziția potențiometrului (figura 6.5). Deci, controlul nivelului se realizează indirect.



subgrupurilor, acestea sunt grupate într-o singură pistă, fie prin alternarea conectării acestora la magistrala de mixare (figura 6.4), fie prin panoramarea acestora pe cele două canale ale magistralei de mixare.

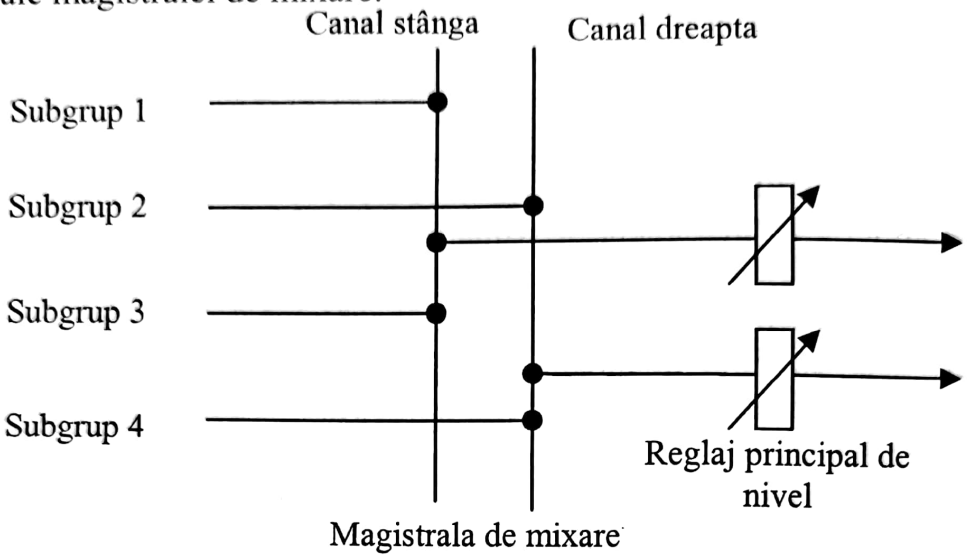
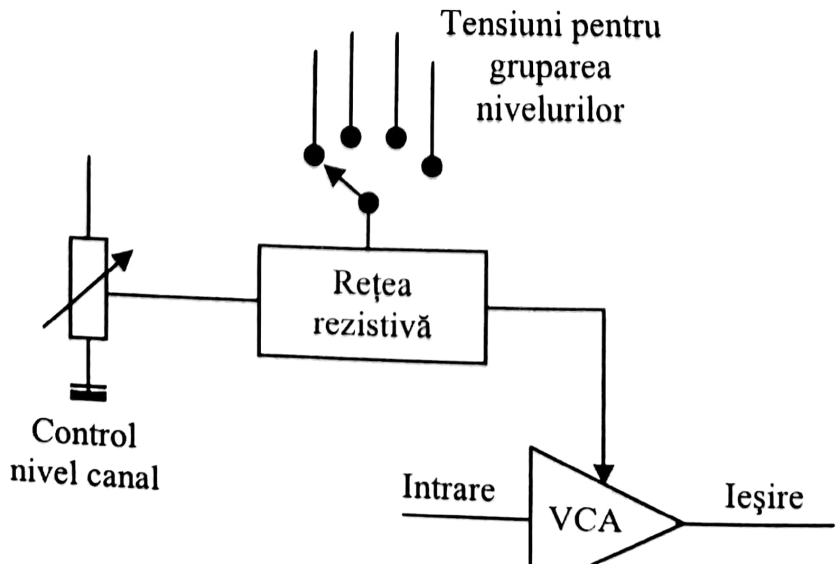


Figura 6.4. Obținerea semnalului de ieşire în cazul utilizării grupurilor audio.

b. GRUPAREA VCA

Acest tip de grupare diferă față de cea precedentă în principal datorită faptului că nu creează o sumă a semnalelor, ci realizează un control comun al nivelurilor semnalelor pastrând ieşirile lor separate. Gruparea poate fi asemănată ca efect cu cel obținut prin modificarea simultană a tuturor nivelurilor.

Cea mai uzuală metodă de obținere a acestui tip de grupare este utilizarea de amplificatoare operaționale cu câştig controlabil printr-o tensiune continuă. Astfel semnalul nu trece prin sistemul de reglare a nivelului propriu-zis, ci printr-un amplificator al cărui câştig este reglat de tensiunea continuă proporțonală cu poziția potențiometrului (figura 6.5). Deci, controlul nivelului se realizează indirect.



subgrupurilor, acestea sunt grupate într-o singură pistă, fie prin alternarea conectării acestora la magistrala de mixare (figura 6.4), fie prin panoramarea acestora pe cele două canale ale magistralei de mixare.

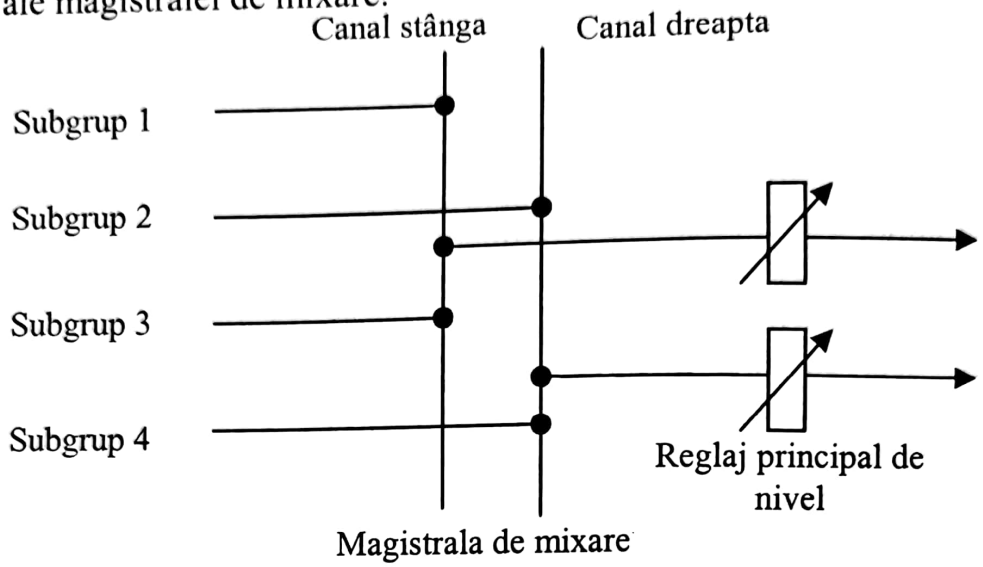


Figura 6.4. Obținerea semnalului de ieşire în cazul utilizării grupurilor audio.

b. GRUPAREA VCA

Acest tip de grupare diferă față de cea precedentă în principal datorită faptului că nu creează o sumă a semnalelor, ci realizează un control comun al nivelurilor semnalelor pastrând ieşirile lor separate. Gruparea poate fi asemănată ca efect cu cel obținut prin modificarea simultană a tuturor nivelurilor.

Cea mai uzuală metodă de obținere a acestui tip de grupare este utilizarea de amplificatoare operaționale cu câştig controlabil printr-o tensiune continuă. Astfel semnalul nu trece prin sistemul de reglare a nivelului propriu-zis, ci printr-un amplificator al cărui câştig este reglat de tensiunea continuă proporțonală cu poziția potențiometrului (figura 6.5). Deci, controlul nivelului se realizează indirect.

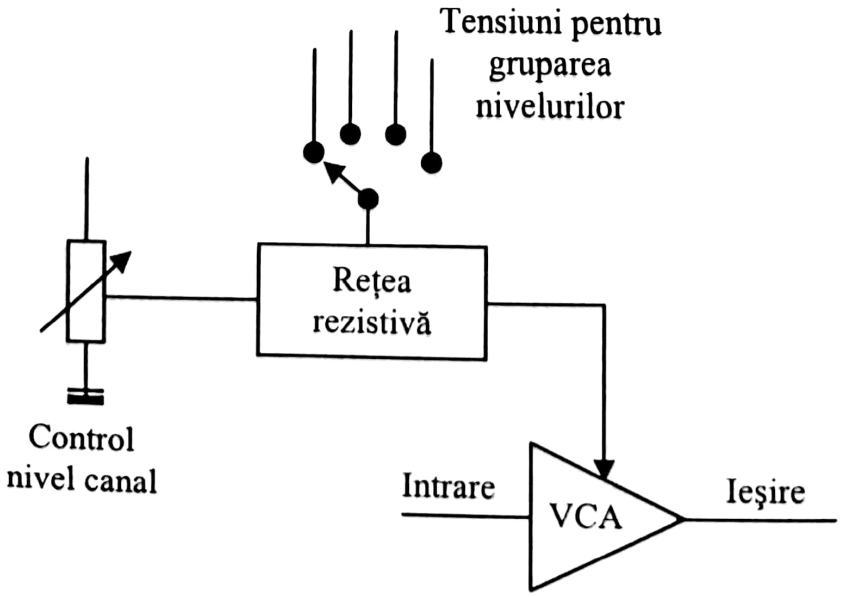


Figura 6.5. Sistem de grupare VCA.

Utilizarea unei astfel de metode de grupare creează posibilitatea automatizării sistemului de mixare. În plus, printr-un simplu sistem de comutatoare canalul poate fi ataşat oricărui grup. Există cu toate acestea şi sisteme de grupare VCA pentru mixere neautomate. În acest caz există o secţiune separată a mixerului pentru controlul nivelului fiecărui canal, printr-un sistem de comutatoare realizându-se gruparea prin reglarea individală a nivelului fiecărui canal.

6.2.3. MODULE DE IEŞIRE

O schemă simplificată a modulului de ieşire este prezentată în figura 6.6. Una din cele mai importante componente ale acestuia o reprezintă magistrala de mixare care realizează combinarea tuturor canalelor sau a grupurilor (pentru simplificare nu s-au reprezentat cele două canale - stânga, dreapta).

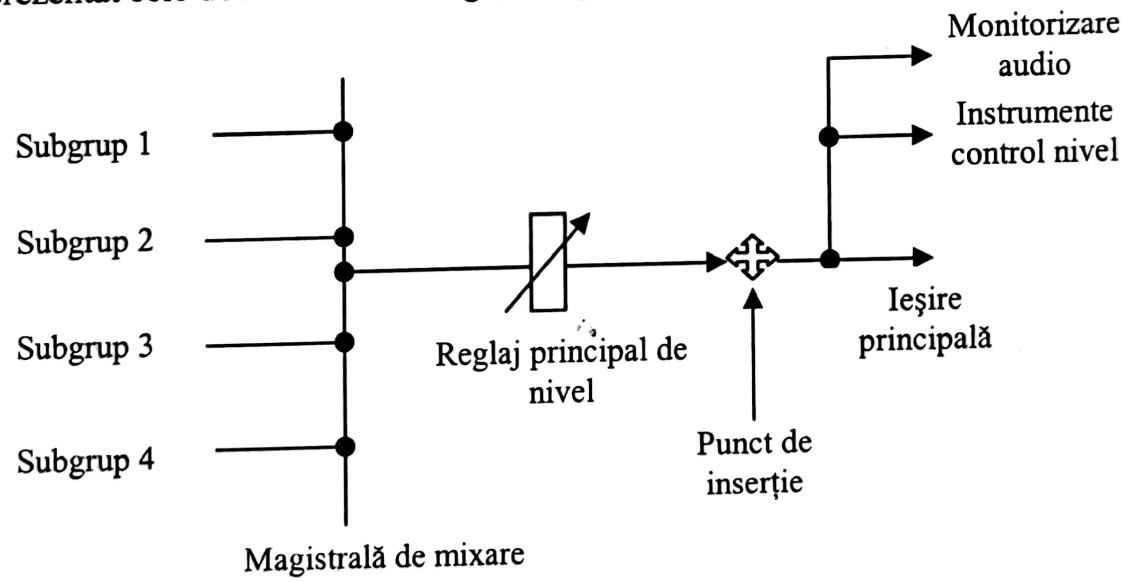


Figura 6.6. Schema bloc simplificată a modulului de ieşire.

Aşa după cum se observă din figură, în secţiunea de ieşire există un punct de inserţie pentru a permite introducerea de efecte globale (limitare, compresie), în cazul în care acestea sunt necesare. De asemenea, este prezentă o ieşire către secţiunea de monitorizare constituită din indicatoare de nivel şi dintr-o ieşire ce poate fi utilizată pentru monitorizare audio (se conectează difuzoare, căşti).

Scanned with OKEN Scanner

6.3. PRINCIPALELE FACILITAȚI ALE MIXERELOR

Cele mai multe dintre mixere permit prelucrarea într-un anumit grad a semnalelor, precum şi angrenarea altor sisteme de prelucrare suplimentară a semnalului audio. Cea mai slabă dintre facilitaţile mixerelor o constituie egalizarea semnalului, existând foarte puţine mixere ce nu au nici măcar această facilitate. În cele ce urmează se vor prezenta câteva din facilitaţile mai importante ale mixerelor.

6.3.1. SECȚIUNEA DE INTRARE

Controlul amplificării – realizează amplificarea semnalului de intrare de la microfon sau de la sursa de semnal. Acest control se realizează în paşi de 10 dB cu posibilitatea existenței unui reglaj fin. Există între specialişti contradicţii în ceea ce priveşte tipul reglajului, continuu sau în paşi. Pentru obținerea unei precizii mai bune a amplificării dorite este bine ca paşii de reglare să fie de 5 dB.

Alimentarea „fantomă“ – este necesară pentru microfoanele condensator (figura 6.7). De cele mai multe ori acesta este un comutator al modulului de intrare. În cazul în care microfoanele folosite sunt cu alimentare simetrică, prezența tensiunii de 48 V nu le deranjează. Există sisteme care necesită scoaterea modulului de control al amplificării pentru a activa alimentarea fantomă.

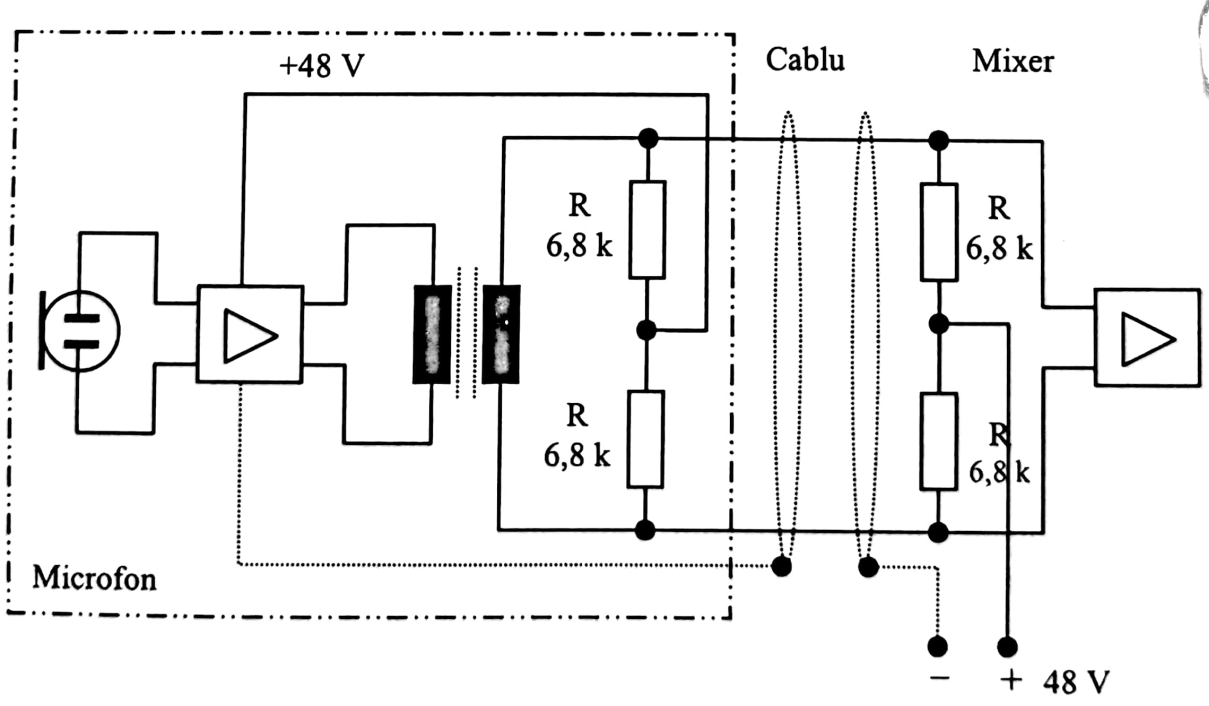


Figura 6.7. Alimentarea „fantomă“.

Comutare microfon/linie – comutator pentru selectarea microfonului sau a semnalului de nivel ridicat.

Scanned with OKEN Scanner

PAD – comutator pentru introducerea suplimentară a unei atenuări de 20 dB pentru cazul în care microfonul este într-un câmp sonor având presiune mare sau pentru a compensa diferența de sensibilitate dintre microfoanele dinamice şi cele de tip condensator.

Inversarea fazei – comutator pentru inversarea fazei semnalului necesar în scopul: compensării întârzierii la microfoanele direcționale cu inversare sau creării de efecte.

Filtre – trece sus sau trece jos, fără ajustare, pentru eliminarea zgomotelor sau a frecvențelor joase deranjante.

6.3.2. SECȚIUNEA DE DISTRIBUȚIE A CĂILOR

Comutatoare de distribuție a căilor – realizează distribuția căilor către sistemul de înregistrare multipistă, având posibilitatea distribuirii unui semnal pe mai multe piste. Atribuirea căilor este de cele mai multe ori realizată pe perechi de piste, existând însă şi posibilitatea atribuirii simultane prin intermediul unui potențiometru ca şi cum ar fi o pereche stereo. De exemplu, pistele 3 si 4 pot constitui o pereche stereo pentru fundalul vocal, iar fiecare microfon de fundal poate fi transmis pe pistele 3 si 4, panoramat pentru evidențierea poziției relevante în imaginea sonoră.

Direct – comutator pentru dirijarea canalului direct către pista corespunzătoare sistemului de înregistrare multipistă fără a mai fi trecut prin magistrala de însumare. Astfel se poate reduce zgomotul suplimentar al mixerului. În această situație, pe această pistă nu mai poate fi trimis nici un alt semnal.

6.3.3. SECȚIUNEA DE CONTROL A DINAMICII

Secțiunea este inclusă doar în mixerele performante, fiecare semnal putând fi prelucrat fără implicarea unor dispozitive externe. Această funcție de control a dinamicii implică încorporarea unor compresoare, exapandoare, limitatoare şi porți de zgomot. De asemenea, este necesară şi prezența unui egalizor care să permită o limitare sensibilă la frecvență.

Utilizarea controlului dinamicii în cazul semnalelor stereo implică setări identice pentru cele două canale, deoarece în caz contrar poate fi afectată imaginea sonoră. Dacă controlul dinamicii nu este disponibil pentru fiecare modul, este posibilă implementarea facilității în secțiunea centrală sau de ieşire.

6.3.4. SECȚIUNEA DE EGALIZARE

Aceasta are rol în controlul tonalității. De cele mai multe ori banda audio este divizată în trei regiuni, pentru fiecare din aceste regiuni existând posibilitatea reglării separate a tonalității. Explicarea modului de acționare al sistemelor de egalizare,

Scanned with OKEN Scanner

precum şi prezentarea principalilor parametri ai echipamentelor de egalizare este făcută în capitolul 7.

6.3.5. SECȚIUNEA DE MIXARE

Panoramarea – reprezintă poziționarea semnalului unei surse în spațiul imaginii sonore obținută prin mixare. Operația constă în principal în descompunerea semnalului de la ieşirea controlului de nivel în două semnale (stânga şi dreapta), poziția în imaginea sonoră fiind reglată prin modificarea nivelurilor celor două semnale. Această operație nu este similară cu reglajul de balans al unui amplificator stereo, care modifică nivelurile relative dintre cele două canale, întrucât prin potențiometrul de panoramare se asigură un nivel constant al nivelului sunetului perceput.

În figura 6.8 se poate vedea legea de variație a potențiometrului de panoramare [17]. Ea a fost aleasă în aşa fel încât ambele canale să aibă o atenuare de 3 dB atunci când sursa de semnal este poziționată în centru. Această atenuare a fost aleasă pentru a elimina efectul creşterii nivelului cu 6 dB. Astfel intensitatea radiată de cele două difuzoare rămâne aceeaşi atunci pentru orice poziție a sursei. În figură sunt reprezentate nivelurile semnalelor celor două canale la poziționarea sursei la jumătatea distanței dintre centru si stânga imaginii sonore.

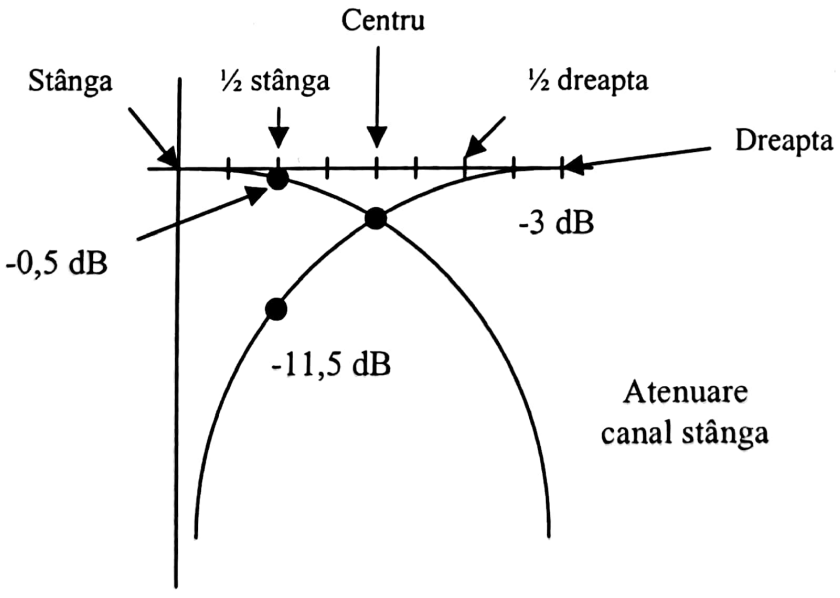


Figura 6.8. Legea de variație a atenuarii pentru potențiometrul de panoramare.

Aceasta secțiune de mixare mai cuprinde:

- Comutator pentru utilizarea potențiometrului de control al atenuării pe partea de mixare sau pe canal, care este utilizat, în general, atunci când se doreşte

Scanned with OKEN Scanner

schimbarea destinației echipamentului, din echipament de mixare într-unul de înregistrare.

- Comutator între ieşirea canalului şi semnalul ce vine de la sistemul de înregistrare multipistă spre secțiunea de monitorizare.
- Comutator pentru direcționarea simultană a semnalului de canal şi a semnalului de monitorizare, ceea ce înseamnă că se poate realiza o înregistrare multipistă simultan cu o înregistrare stereo sau o difuzare.
- Comutator pentru eliminarea unei anumite căi de la mixare (**CUT**) sau a unei căi de la înregistrare pe echipamentul multipistă (**MUTE**).
- Comutator ce facilitează monitorizarea (redarea) unui semnal fără a fi distribuit în componența semnalului mixat (**PFD** – Pre-Fade Listen). În acest scop există o magistrală separată, de obicei mono, la care pot fi conectate toate canalele şi la care canalele ajung înainte de reglajul final al nivelului (figura 6.9).

Uneori în acelaşi timp se poate activa o logică internă care comută ieşirea de monitorizare a mixerului la aceeaşi magistrală PFL. Dacă această logică nu există, mixerul permite selecția liniei PFL şi implicit reproducerea oricărui canal care este selectat pe magistrala PFL. Există mixere la care selecția modului de lucru PFL se realizează prin apăsarea butonului de reglare a nivelului.

Această facilitate este avantajoasă în condițiile în care se realizează programe în timp real deoarece permite inginerului de sunet ascultarea sursei de semnal înainte de a fi transmisă prin mixer către ieşirea principală. De asemenea, este utilă în studiourile de înregistrare deoarece permite izolarea surselor unele față de altele, fără a fi necesară întreruperea tuturor canalelor, în vederea reglării uşoare a egalizării sau a altor prelucrări.

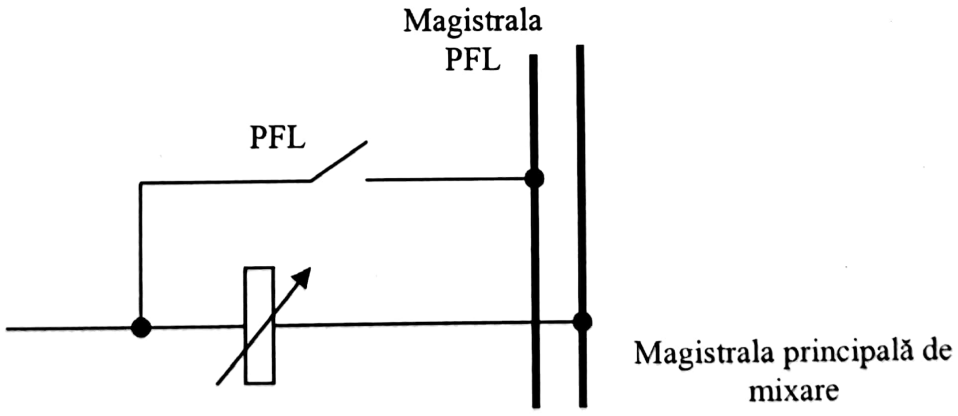


Figura 6.9. Conectarea PFL.

- Comutator AFL (After Fade Listen), care este asemănător celui PFL cu deosebirea că semnalul este colectat după efectuarea reglajului de nivel. Acesta se poate referi la comutatorul SOLO, care permite trimiterea semnalului către monitorizarea

centrală, eliminând celelalte semnale. De cele mai multe ori magistrala AFL este una stereo.

6.3.6. LEGĂTURI AUXILIARE

Numărul de legături auxiliare depinde de fiecare mixer. Acestea apar pentru mixer ca şi ieşiri, fiind folosite pentru: semnal de control pentru solişti sau muzicieni, echipamente pentru realizarea de efecte etc. Fiecare modul al mixerului este capabil să trimită semnale către dispozitive auxiliare şi fiecare ieşire auxiliară este alcătuită din toate semnalele alocate acelei ieşiri. În aceste condiţii se poate spune că există o magistrală pentru semnale auxiliare.

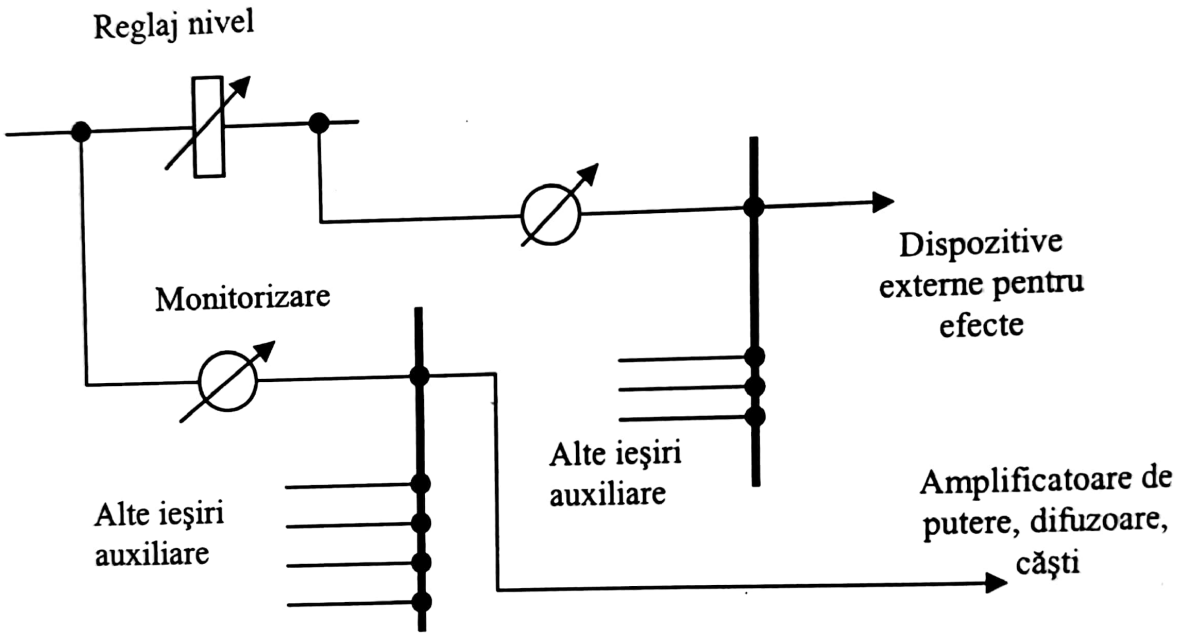


Figura 6.10. Secţiunea de ieşire pentru semnale auxiliare.

Ieşirile auxiliare au un control general al amplificării, pentru reglarea nivelului semnalului trimis de la mixer, putând fi echipate şi cu un egalizor obişnuit (posibilitatea reglării a trei benzi). Acestea sunt de obicei o combinaţie de magistrale stereo şi mono. Magistralele mono sunt utilizate de obicei pentru trimiterea semnalelor către echipamentele pentru efecte, iar cele stereo pot avea posibilitatea controlului nivelului, precum şi a panoramării, fiind utilizate în special pentru mixarea surselor de control. În figura 6.10 este prezentată schema generală a unei secţiuni de ieşire pentru semnale auxiliare.

Aşa după cum se observă din figură, semnalele pot fi preluate înainte sau după reglajul nivelului canalului.

Pentru semnalele ce revin de la echipamentele pentru efecte, există intrări suplimentare în mixer care sunt specificate ca fiind pentru astfel de dispozitive.

Scanned with OKEN Scanner

Acestea sunt în general localizate în secțiunea principală și pot avea caracteristicile canalelor de intrare cu facilități reduse. Aceste intrări pot avea uneori egalizoare.

6.3.7. SECȚIUNEA DE CONTROL GENERAL

În general, această secțiune se găsește la mijlocul mixerului sau în partea dreaptă a acestuia. Principalele facilitați ale acestei secțiuni sunt:

- Selecția semnalului monitorizat – care conține un set de comutatoare care selectează semnalul ce va fi monitorizat (echipamentele de redare, ieșirile auxiliare, ieșirea principală sau alte surse externe). Aceast semnal poate fi multiplicat în vederea aplicării lui la un set separat de difuzoare ce se află în studio. Nu are influență asupra semnalului de la ieșirea mixerului, ci numai asupra celui care este trimis către difuzoarele de monitorizare.
- Comutator de reducere a nivelului semnalului de monitorizare din studio, care reduce nivelul semnalului cu aproximativ 40 dB.
- Comutator pentru verificarea compatibilității semnalului stereo cu cel mono (MONO).
- Comutator pentru inversarea fazei unui canal la monitorizare, în scopul verificării rapide a posibilitații existenței unei inversiuni de fază.
- Comutarea generală a intrărilor mixerului.
- Controlul general al nivelurilor de ieșire a semnalelor auxiliare.
- Posibilitatea selecției semnalului de control pentru muzicieni și a semnalului de comunicație între diferitele încăperi ale studiourilor.
- Oscilator pentru generarea unui semnal în vederea verificării sistemelor de înregistrare, precum și a curentului de preaccentuare a echipamentelor de înregistrare pe banda magnetică. De cele mai multe ori acest oscilator generează două frecvențe fixe (1 și 10 kHz).

6.3.8. SECȚIUNEA DE IEȘIRE

În general, aceasta nu poate fi considerată ca fiind o secțiune separată a unui mixer, dar o vom trata separat, deoarece în unele cazuri este necesară separarea unor surse de semnal din semnalul de la ieșirea principală a mixerului.

Acest lucru este în general important în cadrul schimburilor internaționale de programe. De exemplu, dacă se dorește preluarea unui program de limbă engleză de către un studio ce realizează difuzarea în limba română, este necesară separarea comentariului din limba engleză și introducerea celui în limba română. În acest caz, unele mixere au posibilitatea obținerii la ieșire a unui semnal ce include toate semnalele mixate cu excepția comentariilor, putând fi apoi preluat și transmis cu comentariu în limba dorită, dar conținând semnalul fundamental original.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

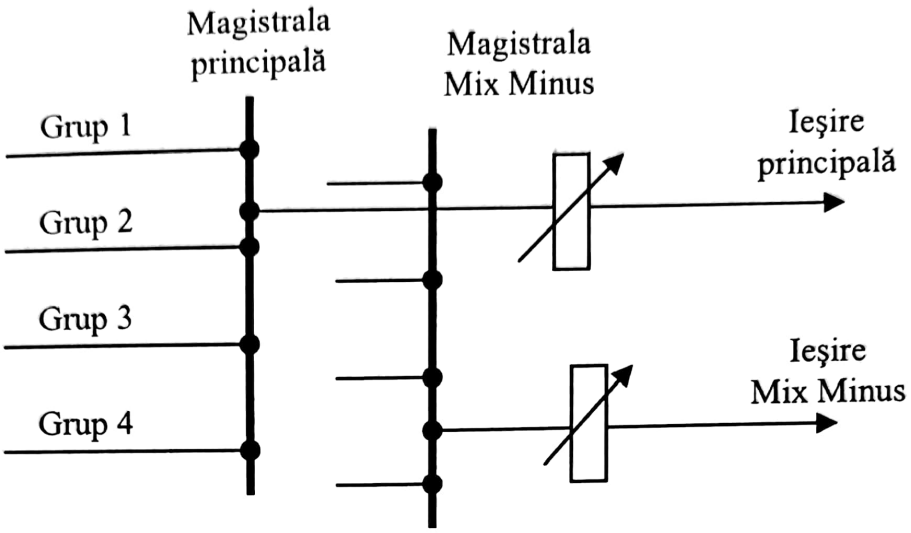


Figura 6.11. Schema simplificată a unei secţiuni de ieşire.

De cele mai multe ori ieşirea suplimentară are posibilitatea de control a nivelului. În figura 6.11 este prezentată schematic structura unei secţiuni de ieşire în care cea de-a doua ieşire nu conţine toate semnalele ieşirii principale. Cea de-a doua ieşire poartă denumirea de "Clean Feed" sau "Mix Minus" (MM) [2].

Un exemplu de utilizare a acestei facilitaţi este prezentat în figura 6.12.

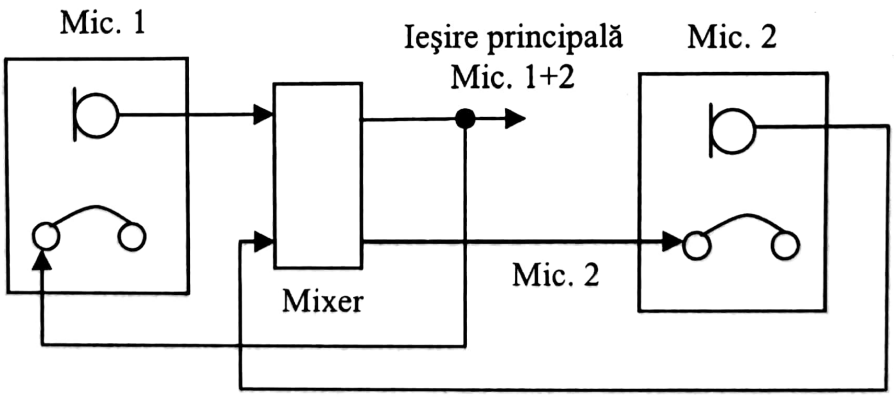


Figura 6.12. Utilizarea facilitaţii Mix Minus.

De multe ori este necesară conectarea simultană a mai multor studiouri. Aceasta înseamnă că există necesitatea unor ieşiri MM în aşa fel încât să poată participa la discuţii mai mulţi reporteri simultan. În acest scop există posibilitatea lucrului pe mai multe căi, figura 6.13.

Aşa cum se observă din figură, toate conexiunile sunt aranjate în aşa fel încât sursa principală a unei căi să nu fie conectată la acea cale, întrucât informaţia nu este necesară.

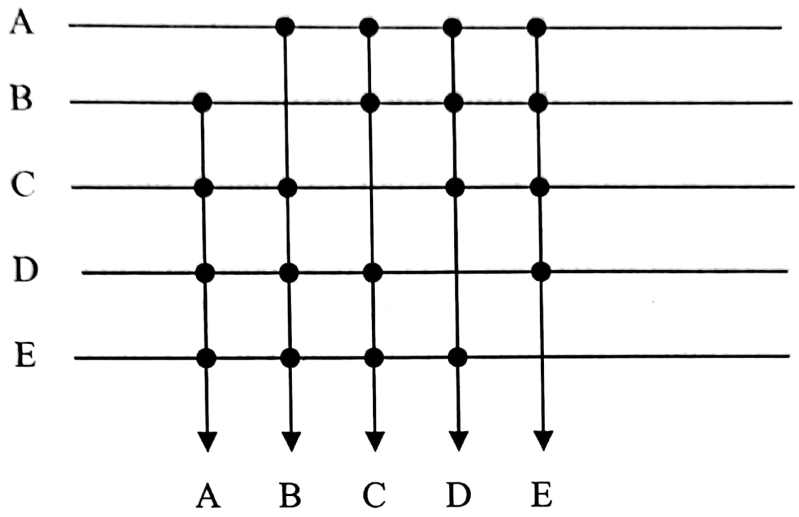


Figura 6.13. Matrice de lucru pe mai multe căi.

6.3.9. SECŢIUNEA DE MĂSURARE

Indicatoarele de măsurare reprezintă un element important al secţiunii de ieşire. Cu ajutorul lor sunt măsurate nivelurile de tensiune ale diferitelor semnale. În cadrul mixerelor există trei tipuri principale de indicatoare:

- **VU** – este un voltmetru care indică nivelul aproximativ pentru diferite semnale audio. Pentru o înregistrare corectă nivelul trebuie reglat în aşa fel încât marea majoritate a semnalelor să atingă un nivel maxim de +3, iar pentru instrumentele de percuţie şi pian, nivelul semnalului trebuie reglat la – 6. Nivelul instrumentelor de percuţie şi al pianului trebuie reglat ca niveluri mai scăzute deoarece acest tip de instrumente reacţionează prea încet la variaţii ale nivelului semnalului de intrare. Pe lângă aceste tipuri de instrumente există şi instrumente ce măsoară valoarea de vârf a semnalului **PPM,** având un răspuns rapid la variaţiile acestuia. Datorită faptului că VU au un răspuns lent la variaţii, indicaţiile acestuia nu reprezintă o valoare reală mai ales în ceea ce priveşte semnalele ce conţin salturi rapide. În acest caz, diferenţele dintre cele două instrumente pot fi de 15-20 dB. Instrumentele PPM sunt de două tipuri: cu scală indicatoare în dB (conform standardului EBU) şi care indică nivelul de 0 dB şi instrumente cu scală indicatoare liniară, între 1 şi 7 (conform standardului BBC). Pentru cele din urmă indicaţia 5 corespunde valorii de 0 dB, iar variaţia între două gradaţii este de 4

Scanned with OKEN Scanner

dBV cu excepția variației între gradațiile 1 și 2, care este de 6 dB. În figura 6.14 sunt prezentate câteva instrumente de măsură analogice.

- **Indicator cu bară de LED-uri** – reprezintă un șir de LED-uri care pot indica nivelul semnalului. Spre deosebire de indicatoarele mecanice, indicatoarele electronice cu LED-uri nu au inerție mecanică, iar precizia lor depinde de numărul de diode utilizate.
- **Indicatoare cu cristale lichide sau plasmă** – reprezintă o altă variantă a indicatoarelor electronice, fiind uneori mai confortabile din punct de vedere al lucrului cu acestea. Totodată acestea pot fi comutate din indicatoare ale nivelului de vârf în indicatoare de tenisune medie VU.
- **Indicator de vârf** – este o diodă LED, care se poate afla în interiorul VU-metrului și care pâlpâie atunci când nivelul semnalului de intrare depășește anumite limite. În acest caz nivelul semnalului trebuie fixat cât mai mare, dar în așa fel încât LED-ul să nu pâlpâie.

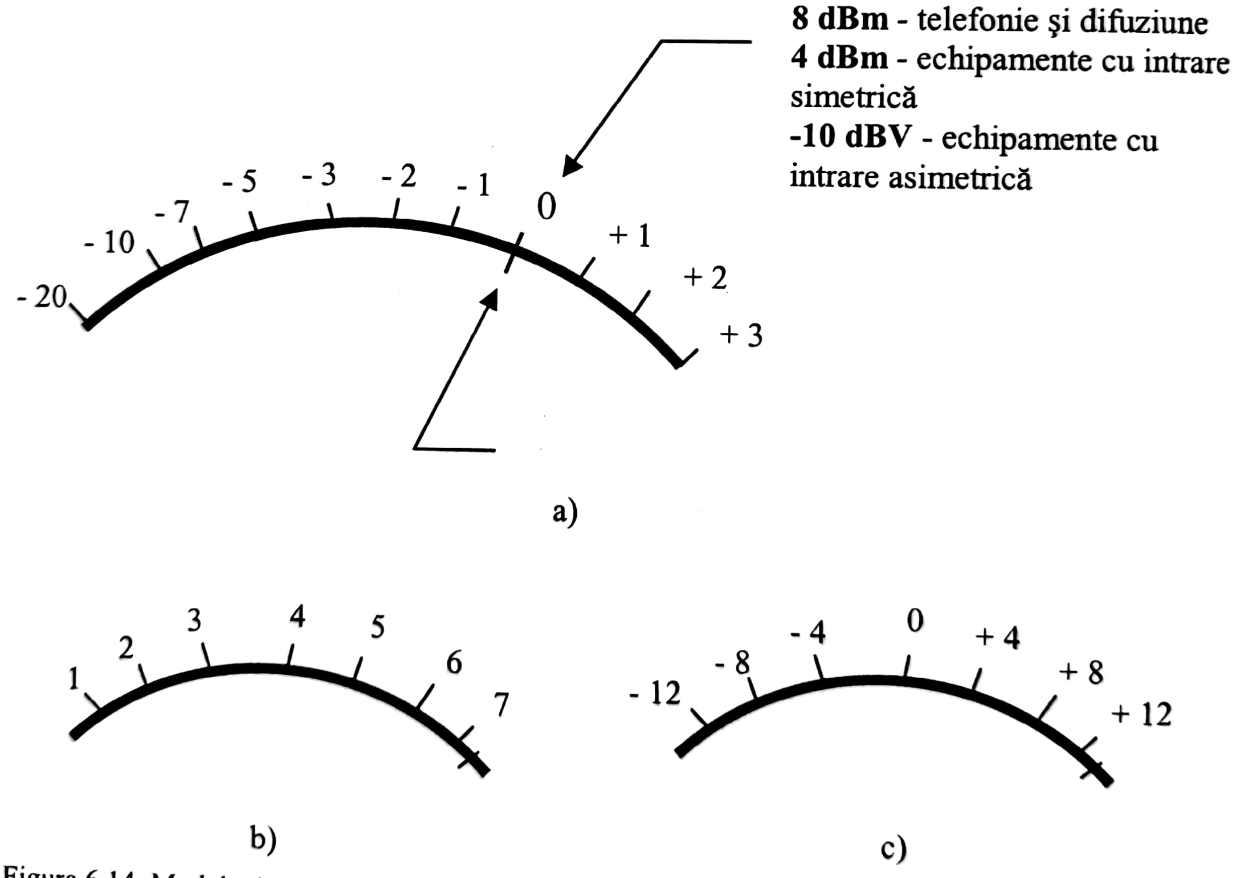


Figura 6.14. Modele de indicatoare a nivelului: a) VU-metru, b) PPM tip BBC, c) PPM tip EBU.

Scanned with OKEN Scanner

6.3.10. SECȚIUNEA DE COMUNICARE

În tehnologia de studio asigurarea unei comunicări interne este foarte importantă. În cazul studiourilor de radio comunicarea este destul de importantă, aceasta realizându-se prin intermediul difuzoarelor, în cazul repetițiilor sau prin intermediul semnelor sau al căştilor, în cazul emisiei în direct. De asemenea, trebuie să existe o comandă pentru avertizarea luminoasă atunci când microfoanele devin active.

Pentru studiourile de televiziune comunicarea devine şi mai importantă, deoarece trebuie să existe o coordonare între mai multe echipe. În acest caz toată echipa ce realizează o emisiune are căşti prin intermediul cărora se comunică toate comenzile. Operatorul de sunet poate şi el primi semnalul sonor al echipei de filmare.

6.4. CARACTERISTICILE TEHNICE ALE MIXERELOR

6.4.1. ZGOMOTUL DE INTRARE

Semnalul la ieşirea unui microfon este de domeniul a 1 mV, ceea ce necesită o amplificare considerabilă pentru a ajunge la nivelul standard al semnalului de linie de 0,775 V. În aceste condiții, pe lângă semnalul util la intrarea amplificatorului, se aplică şi zgomotul microfonului. Dacă pentru un microfon zgomotul generat este de 0,26 μV, față de nivelul semnalului de linie (775 mV) există o diferență de 129,5 dB. Amplificatorul microfonului adaugă propriul semnal de zgomot, ceea ce înseamnă că trebuie să determinăm zgomotul echivalent la intrare. Dacă amplificatorul contribuie cu un nivel de zgomot echivalent cu cel al unui rezistor de 200 Ω (0,26 μV), atunci degradarea semnalului va fi cu 3 dB, ceea ce înseamnă că zgomotul echivalent este de –126,5 dB.

Fabricanții de mixere prevăd un nivel echivalent al zgomotului de intrare de aproximativ -128 dB. Acest parametru poate fi uneori specificat în funcție de tensiunea de 1 V (dBV) şi nu pentru cea de 0,775 V (dBu), ceea ce corespunde unui nivel cu 2,2 dB mai bun.

6.4.2. ZGOMOTUL DE IEŞIRE

Zgomotul rezidual de ieşire al mixerului, cu reglajele de nivel la minim, trebuie să fie mai mic de – 90 dB, deoarece nu se obține nici un câştig dacă avem un amplificator cu zgomot foarte redus, dar al cărui zgomot de ieşire este mare. De asemenea, în cazul în care toate canalele sunt legate la ieşire, zgomotul nu trebuie să depăşească – 80 dB atunci când intrările sunt comutate pe linie şi amplificarea este unitară. Este normal ca în cazul în care intrările sunt fixate pe microfoane zgomotul să

Scanned with OKEN Scanner

crească întrucât câştigul amplificatorului este mare. Acesta este unul din motivele pentru care canalele nefolosite trebuie eliminate din semnalul mixat.

De asemenea, trebuie verificat ca şi ieşirile auxiliare să aibă acelaşi nivel al zgomotului de ieşire.

6.4.3. IMPEDANŢA

Pentru intrările de microfon impedanţa minimă trebuie să fie de 1 kΩ, deoarece o impedanţă mai mică poate conduce la degradarea performanţelor multor microfoane. Pentru intrarea de linie este necesară o impedanţă de cel puţin 10 kΩ.

Pentru ieşiri nivelul impedanţei trebuie să fie scăzut, sub 200 Ω. De asemenea este necesar ca şi ieşirile auxiliare să aibă aceeaşi impedanţă scazută. În cazul în care punctele de inserţie sunt prevăzute pentru conectarea la canalele de intrare, trebuie avut grijă ca impedanţa de intrare să fie ridicată iar cea de ieşire scăzută.

6.4.4. RĂSPUNSUL ÎN FRECVENŢĂ

Răspunsul în frecvenţă al mixerului trebuie să fie uniform (neregularităţi de 0,2 dB în banda de 20 – 20.000 Hz).

6.4.5. DISTORSIUNI

Distorsiunile trebuie să fie cât mai mici. De cele mai multe ori la nivele ridicate ale semnalului de ieşire + 10 dB acestea trebuie să fie sub 0,1% THD (Total Harmonic Distortion). În cazul nivelurilor reduse, distorsiunile trebuie să fie de ordinul 0,01 THD.

6.4.6. DIAFONIA

Aceasta se referă la inducerea unor semnale între canale. Între canalele adiacente nivelul acesteia trebuie păstrat sub –80 dB. Întrucât la frecvenţe mai mari există aşa-zisele cuplaje capacitive, între fire se permite ca nivelul diafoniei să ajungă până la –60 dB la 15 kHz.

De asemenea, la frecvenţe joase datorită influenţei tensiunii de alimentare este permisă degradarea nivelului de diafonie până la –50 dB la 20 Hz.

În cazul unui mixer performant trebuie să ne asigurăm că diafonia intrărilor şi a ieşirilor are nivele bune şi acestea sunt comparabile. Uneori există posibilitatea ca diafonia între canalele auxiliare să fie mai mare.

Scanned with OKEN Scanner

6.5. AUTOMATIZAREA MIXERELOR

Cea mai întâlnită formă de automatizare a mixerelor este stocarea dinamică a poziției potențiometrelor de nivel în timp pentru a putea fi utilizată sincron cu un material înregistrat ori de câte ori este necesar. Scopul automatizării îl constitue posibilitatea comandării mixerului de către o singură persoană în condițiile în care numărul comenzilor manuale devine prea mare.

6.5.1. AUTOMATIZAREA COMENZILOR DE NIVEL

Pentru memorarea şi controlul amplificării canalelor există două posibilități:

- Memorarea poziției potențiometrelor şi utilizarea acestora la controlul amplificării amplificatoarelor comandate în tensiune (VCA),
- Memorarea mişcării potențiometrelor şi utilizarea datelor pentru comanda acestora cu ajutorul unor motoraşe.

Din punct de vedere al prețului, este mai bună cea de-a doua implementare, dar nu întotdeauna poziția fizică a potențiometrelor corespunde amplificării necesare. Din acest motiv se poate utiliza o combinație a acestor două metode prin controlul amplificării cu ajutorul VCA şi comanda mecanică (cu motoraşe) a poziției potențiometrelor.

6.5.2. GRUPAREA AUTOMATĂ

Aceasta se obține prin utilizarea unor amplificatoare VCA dedicate, aşa cum am prezentat în paragraful 6.2.2.b.

Se poate vorbi în aceste condiții şi de posibilitatea eliminării automate a canalului (MUTE). Această operație este mult mai uşoară, întrucât trebuie relizată numai o comutare a unui element, care de cele mai multe ori este un tranzistor cu efect de câmp.

6.5.3. SISTEME DINAMICE ŞI STATICE

Cele mai multe din mixerele moderne utilizează atenuatoare numerice controlate, echivalente VCA-urilor, pentru controlul nivelurilor diferitelor funcții, cum ar fi: egalizarea, ieşirile auxiliare etc. Dacă fiecare funcție este memorată dinamic (toate schimbările sunt memorate şi redate în timp real), sunt necesare programe complexe pentru prelucrarea acestor date şi de asemenea spații de memorie mari.

Din acest motiv sunt utilizate aşa-zisele sisteme statice, al căror scop nu este memorarea continuă a schimbărilor pentru toate funcțiile, ci memorarea unor anumite poziții de control, care pot fi reutilizate manual sau în concordanță cu un cod de timp.

Scanned with OKEN Scanner

Distribuirea automată a sunetului este utilizată de cele mai multe ori în teatru, unde este necesară utilizarea de efecte pentru diferite semnale şi diferite căi. În acest caz o memorie statică conţine informaţia necesară pe care operatorul o adresează ori de câte ori este necesar.

6.6. MIXERE NUMERICE

În cazul mixerelor numerice, semnalele analogice sunt convertite în semnale numerice. Intrările numerice, în acest caz, sunt capabile să realizeze conectarea echipamentelor numerice fără necesitatea convertirii acestora în semnale analogice. Avantajul îl constitue faptul că semnalul numeric este mult mai robust la zgomot, virtual imun la diafonie, nu este influenţat de câmpuri magnetice parazite etc.

În cazul acestor mixere este posibilă introducerea amplificării, egalizării, compresiei sau altor efecte prin prelucrarea numerică a semnalelor. Operaţiile pe care le efectuează mixerul rămân similare cu cele efectuate în cazul celor analogice.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 7

ECHIPAMENTE DE PRELUCRARE A SEMNALELOR ŞI EFECTE SONORE

7.1. INTRODUCERE

Cu ajutorul efectelor se poate modifica sau îmbunătăți sunetul de bază al instrumentelor şi vocii. De asemenea, privite din perspectiva creării de noi sunete în televiziune sau radiodifuziune, efectele sonore au o foarte mare importanță. Un exemplu de efect sonor constă în obținerea de reverberații artificiale pentru un anumit instrument sau chiar pentru un sunet complex. Astfel, se poate crea impresia unui concert într-o sală cu reverberație mare, pentru un concert preluat în aer liber.

Efectele sonore sunt create cu ajutorul unor echipamente electronice numite sisteme de prelucrare [21]. Acestea sunt în general externe echipamentelor de mixare. Ele preiau semnalul de la mixer şi îl returnează după prelucrare, pentru a fi trimis canalului adecvat. Cele mai utilizate efecte sunt: reverberația, ecoul şi corul.

Există însă şi situații, cum ar fi: înregistrarea unei orchestre sau a unei formații folk, care nu necesită sisteme de prelucrare a semnalelor, întrucât rezonanța acustică a sălilor creează întreaga ambianță sonoră.

7.2. EGALIZORUL

7.2.1. TIPURI DE EGALIZOARE

Aşa cum am văzut în capitolul 6, egalizorul se găseşte de cele mai multe ori în componența mixerului realizând controlul tonului sunetului. Marea majoritate a acestora sunt foarte simple, realizând controlul într-un domeniu limitat de frecvențe (cel al frecvențelor joase şi înalte).

Scanned with OKEN Scanner

Influența asupra sunetului se realizează prin creşterea sau atenuarea nivelului diferitelor benzi de frecvență. Prin această operație se intervine practic asupra spectrului de frecvențe al sunetului generat de sursă. Cum acest spectru (fundamentala şi armonicele) ne dă calitatea şi timbrul specific fiecărui instrument, acțiunea egalizorului poate conduce în ultimă instanță la modificarea caracteristicilor sunetelor generate de instrumente prin modificarea nivelurilor diferitelor componente spectrale. În consecință, cu ajutorul egalizorului se poate controla calitatea sunetului.

a. EGALIZOARE LF şi HF

Cele mai simple egalizoare sunt cele ce realizează controlul frecvențelor joase sau înalte denumite şi egalizoare pentru joasa frecvență LF EQ sau egalizoare de înaltă frecvență HF EQ. Efectul acestora constă în accentuarea sau atenuarea cu până la 15 dB la frecvența de 100 Hz (LF EQ) sau 10 kHz (HF EQ). Caracteristica de frecvență a răspunsului acestor egalizoare este prezentată în figura 7.1.

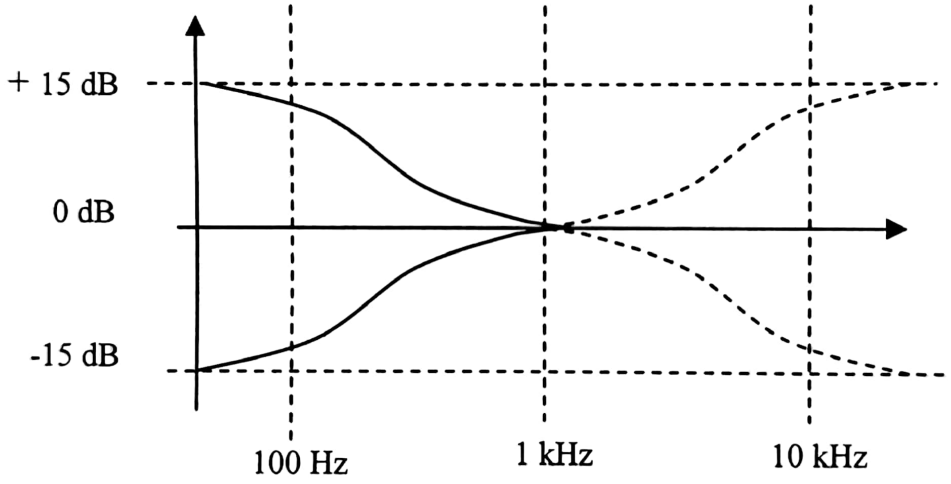


Figura 7.1. Caracteristica de frecvență a egalizoarelor LF şi HF.

b. EGALIZOARE MULTISPECTRALE

Un control mai complex asupra tonalității poate fi obținut cu ajutorul egalizoarelor multispectrale care pot controla tonalitatea prin modificarea nivelului câtorva benzi de frecvență. Efectul acestor egalizoare asupra semnalului este prezentat în figura 7.2.

Creşterea flexibilității controlului asupra tonalității se realizează cu ajutorul egalizoarelor cu posibilitatea reglării poziției benzii de frecvență afectate. Acestea sunt denumite incorect parametrice, deoarece au posibilitatea reglării domeniului de frecvență pe care dorim sa-l corectăm. Practic, în instalațiile uzuale nu se vor găsi egalizoare parametrice. Efectul unui astfel de egalizor este prezentat în figura 7.3.

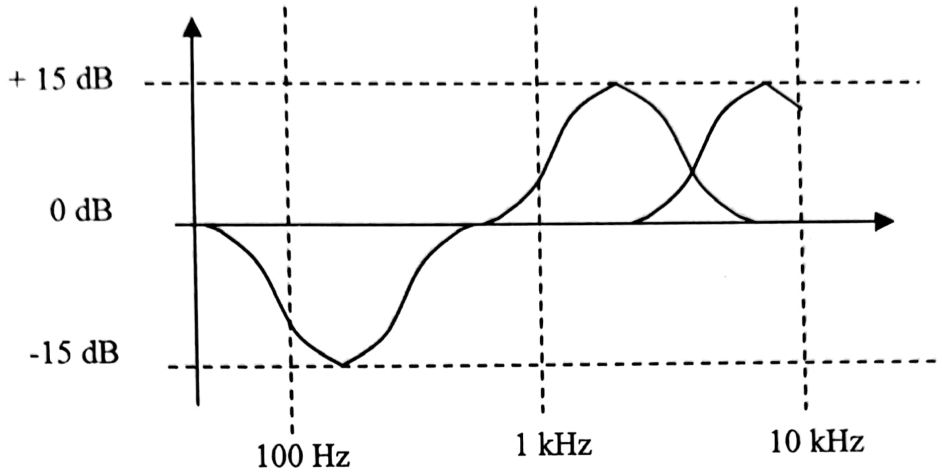


Figura 7.2. Efectul egalizoarelor multispectrale.

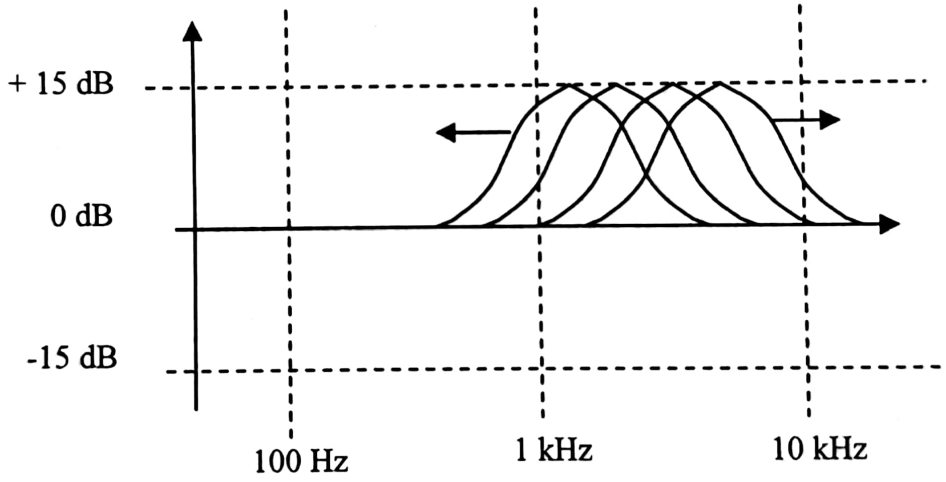


Figura 7.3. Efectul egalizoarelor cu posibilitatea reglării poziţiei benzii de frecvenţă afectate.

c. EGALIZOARE PARAMETRICE

Egalizoarele parametrice permit controlul continuu al frecvenţei, atenuării, accentuării, precum şi al benzii de frecvenţă afectate de acesta. Teoretic, egalizorul parametric poate influenţa orice frecvenţă din spectrul semnalului. Variaţia benzii de frecvenţă se realizează cu ajutorul modificării factorului de calitate (Q) al filtrului utilizat (figura 7.4).

Scanned with OKEN Scanner

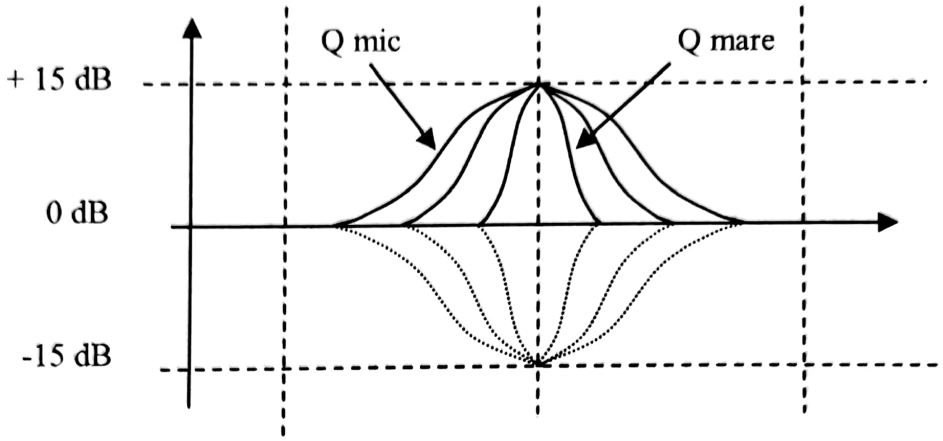


Figura 7.4. Efectul variației factorului de calitate al filtrelor.

Astfel, prin modificarea factorului Q se influențează lățimea benzii de frecvență afectate de controlul frecvenței. Există unele așa-zise egalizoare parametrice, care însă nu au posibilitatea reglării lui Q.

d. EGALIZOARE GRAFICE

Marea majoritate a egalizoarelor prezentate sunt sau pot fi implementate într-un mixer. Există însă şi egalizoare mai complexe (egalizoarele grafice) care se constituie ca echipamente de sine stătătoare. Acestea se utilizează de obicei pentru compensarea difuzoarelor de monitorizare. Denumirea de egalizor grafic vine de la faptul că pozițiile potențiometrelor arată curba de răspuns în frecvență a egalizorului (figura 7.5). În cazul acestora spectrul de frecvențe este divizat în 5 până la 31 benzi de frecvență, fiecare bandă având un potențiometru de reglare individual.

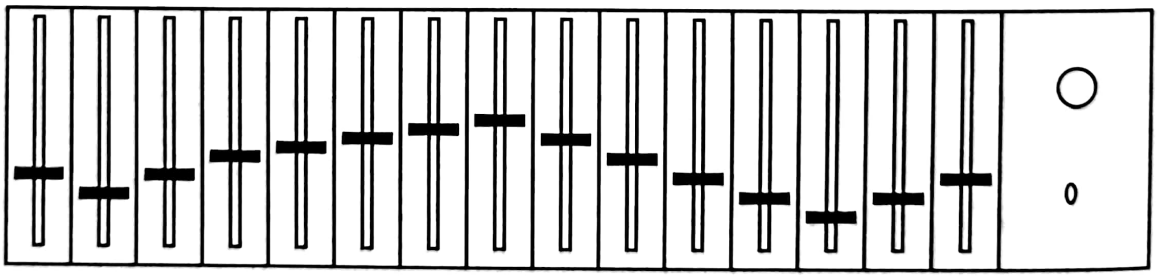


Figura 7.5. Egalizorul grafic.

e. FILTRE

La limită şi filtrele pot fi considerate egalizoare. În practică sunt utilizate filtrele trece sus (20, 30, 40, 60, 60 Hz), pentru eliminarea frecvențelor joase în scopul curățirii semnalului audio de zgomotele parazite (pârâituri, pocnituri) şi filtre trece jos

Scanned with OKEN Scanner

(10 kHz), pentru eliminarea frecvenţelor înalte de tip fâşâituri datorate înregistrărilor pe bandă magnetică.

De asemenea, am văzut la sistemele de difuzoare filtre de separare utilizate pentru divizarea benzilor de frecvenţă, în scopul utilizării difuzoarelor în bandă pentru care au fost construite.

7.2.2. UTILIZAREA EGALIZOARELOR

Aşa cum am văzut în capitolul 6, cele mai multe dintre mixere conţin o secţiune de egalizare pentru fiecare modul. Această secţiune poate fi activată atunci când se doreşte şi influenţează tonalitatea sunetului obţinut la ieşirea modulului. Pentru a putea utiliza corect un egalizor este necesară cunoaşterea aproximativă a frecvenţelor generate de diferitele instrumente, precum şi „apariţia" acestora în funcţie de domeniul de frecvenţe accentuat. Din acest motiv, vom prezenta în cele ce urmează câteva instrumente cu frecvenţă fundamentală generată, precum şi domeniul de frecvenţă acoperit de armonici [24]. Armonicile sunt orientative.

Instrument	Fundamentala	Armonici
Flaut	261 - 2349 Hz	3 - 8 kHz
Cimpoi	261 - 1568 Hz	2 - 12 kHz
Clarinet	165 - 1568 Hz	2 - 10 kHz
Contrabas	62 - 587 Hz	1 - 7 kHz
Trompetă	165 - 988 Hz	1 - 7,5 kHz
Corn	87 - 880 Hz	1 - 6 kHz
Trombon	73 - 587 Hz	1 - 7,5 kHz
Tobă	49 - 587 Hz	1 - 4 kHz
Tobă snare	100 - 200 Hz	1 - 20 kHz
Tobă kick	30 - 147 Hz	1 - 6 kHz
Cimbal	300 - 587 Hz	1 - 15 kHz
Vioară	196 - 3136 Hz	4 - 15 kHz
Violă	131 - 1175 Hz	2 - 8,5 kHz
Violoncel	65 - 698 Hz	1 - 6,5 kHz
Chitară bas	41 - 294 Hz	1 - 5 kHz
Chitară bas (electrică)	41 - 300 Hz	1 - 7 kHz
Chitară	82 - 988 Hz	1 - 15 kHz
Chitară (electrică)	82 - 1319 Hz	1 - 3,5 kHz (prin amplificator) 1 - 15 kHz (direct)
Pian	28 - 4196 Hz	5 - 8 kHz
Voce (bas)	87 - 392 Hz	1 - 12 kHz

Scanned with OKEN Scanner

Voce (tenor)	131 – 494 Hz	1 - 12 kHz
Voce	175 – 698 Hz	2 - 12 kHz
Voce (soprană)	247 – 1175 Hz	2 - 12 kHz

Ca reguli generale pentru utilizarea egalizoarelor în cazul instrumentelor putem menționa:

- Accentuarea frecvențelor înalte ale fundamentalei pentru obținerea unor sunete calde, plăcute.
- Atenuarea fundamentalei, atunci când tonurile obținute sunt prea joase sau se obțin efecte de tub.
- Accentuarea armonicilor pentru o mai bună definiție şi creşterea prezenței unui instrument.
- Atenuarea armonicilor, atunci când tonurile obținute sunt prea ascuțite.

Desigur, acestea sunt câteva sfaturi care o dată cu creşterea experienței vor căpăta o altă însemnătate. Deoarece se poate obține o distorsionare a semnalului prin accentuări excesive, cel mai indicat este atenuarea frecvențelor complementare în locul accentuării.

La întrebarea „când utilizam un egalizor?", răspunsul nu este atât de simplu pentru că acesta depinde de situația concretă. Ceea ce este important este faptul că utilizarea egalizorului trebuie limitată. Astfel, înaintea utilizării egalizării pentru modificarea tonalității, trebuie încercată schimbarea microfoanelor sau a amplasării acestora. De asemenea, în funcție de situația concretă trebuie aleasă soluția în care utilizarea egalizării să afecteze cât mai puține piste sau instrumente.

Ca şi concluzie putem spune că utilizarea egalizării are următoarele aplicații:

- Îmbunătățirea tonalității sunetului - care este cea mai utilizată aplicație, cu dezavantajul că se poate reduce fidelitatea sunetului.
- Obținerea de efecte sonore - prin utilizarea posibilităților de reglare la extrem.
- Reducerea zgomotului - filtrarea trece jos pentru frecvențe joase poate elimina zgomotele perturbatorii datorate vântului, atunci când se realizează o preluare a sunetului în aer liber.
- Compensarea efectului Fletcher-Munson - care se referă la faptul că urechea este mai puțin sensibilă la frecvențele joase şi înalte pentru niveluri scăzute ale sunetului (curba de nivel minim). Potrivit acestui efect, în cazul în care se redă un program cu nivel mai scăzut decât cel original, se realizează o pierdere subiectivă în ceea ce priveşte frecvențele joase şi cele înalte.
- Compensarea deficiențelor camerelor de ascultare.
- Compensarea, în unele cazuri, a plasamentului microfoanelor.

Scanned with OKEN Scanner

7.3. COMPRESOARE

Ca şi funcţionare, compresorul se comportă ca un sistem de reglare automată a nivelului. Utilizarea acestuia este importantă mai ales atunci când sunetul prezintă variaţii importante ale nivelului. Un exemplu este solistul vocal, care poate alterna pasaje de nivel redus cu pasaje de nivel ridicat. De asemenea, pot apărea fluctuaţii ale nivelului prin apropierea sau depărtarea microfonului faţă de sursa de semnal etc.

Practic, acţiunea compresorului se referă la dinamica sunetului. Astfel, pasajele de nivel redus sunt amplificate, în timp ce pasajele de nivel ridicat sunt atenuate, prin această acţiune nemodificându-se forma semnalului, ci numai amplitudinea vârf la vârf a acestuia (figura 7.6).

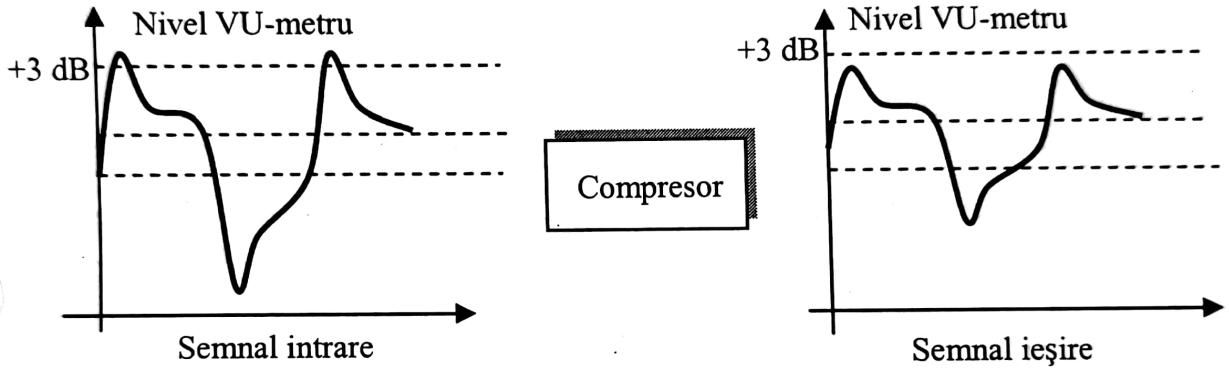


Figura 7.6. Compresia.

Astfel, cu ajutorul compresorului se realizează păstrarea nivelului sunetelor aproximativ constant, ceea ce contribuie la prevenirea apariţiei de niveluri ridicate ce pot conduce la saturarea benzii sau distorsionarea semnalelor. În mod normal, compresia se aplică numai asupra instrumentelor care necesită, evitându-se astfel apariţia de efecte audibile datorate acţiunii acesteia.

Compresia utilizată pentru instrumente pe durata înregistrării permite creşterea raportului semnal/zgomot, dar necesită reglajul parametrilor compresorului. Cei mai importanţi parametri sunt:

Raportul de compresie - care reprezintă raportul în care se schimbă dinamica semnalului de intrare faţă de cea a semnalului de ieşire. De exemplu, pentru un raport de compresie 2:1 şi o dinamică a semnalului de intrare de 20 dB, dinamica semnalului de ieşire este de 10 dB. Uzual, valoarea raportului de compresie este de 1,5 până la 4:1.

Reducerea amplificării - care reprezintă numărul de dB cu care este redusă amplificarea compresorului. Acesta variază în funcţie de nivelul semnalului de intrare.

Timpul de atac - care reprezintă timpul de răspuns necesar compresorului pentru a ajunge la parametrii nominali. Uzual, acesta are valori cuprinse între 0,25 şi

10 ms. Cu cât acest timp este mai mare, cu atât vârfurile de semnal trec fără a avea nivelul redus corespunzător.

Timpul de revenire - care reprezintă durata necesară revenirii la amplificare normală. Acesta poate fi reglat de la 50 ms la câteva secunde. În cazul instrumentelor care generează frecvenţe joase este necesar ca acest timp să fie mai mare de 0,4 s pentru a preveni eventualele distorsiuni armonice ce pot să apară.

Pragul de acţionare - care reprezintă pragul pentru a intra în acţiune compresia. Prin alegerea unui prag ridicat (0 VU) se obţine compresie numai pentru notele puternice, în timp ce alegerea unui prag scăzut (-10 VU sau -20 VU) se utilizează pentru punerea în evidenţă a pasajelor de nivel scăzut. Dacă compresorul are un prag fix, pentru controlul nivelului compresiei se utilizează reglajul nivelului de intrare.

Controlul nivelului de ieşire - realizează reglajul nivelului de ieşire pentru compatibilitatea cu nivelul de intrare al mixerului.

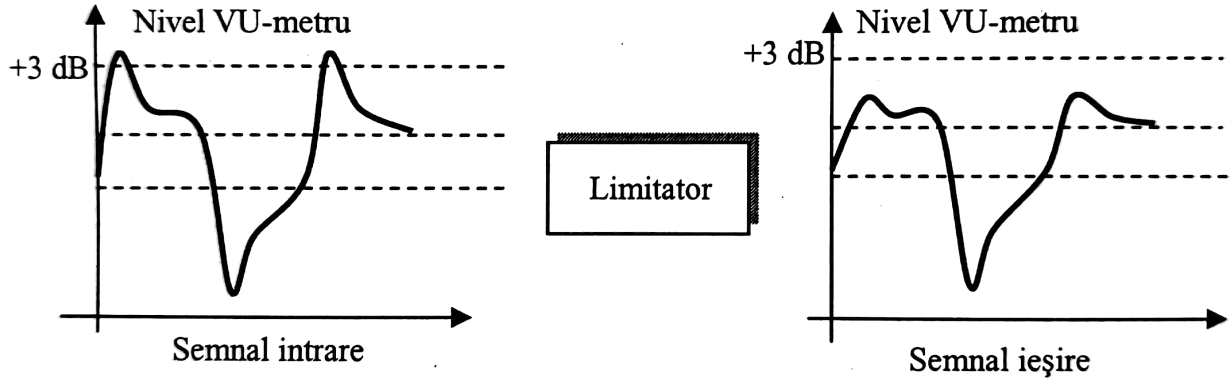


Figura 7.7. Acţiunea limitatorului asupra semnalului.

7.4. LIMITATORUL

Un limitator este un amplificator a cărui ieşire este păstrată constantă pentru un domeniu al tensiunii de intrare. În acest caz factorul de compresie este foarte mare (10:1 sau mai mult), iar pragul este reglat pentru un nivel mai scăzut decât nivelul ce conduce la saturaţia benzii sau a intrării în limitare a amplificatorului.

Spre deosebire de compresor care reduce nivelul întregului semnal fără a modifica forma semnalului, limitatorul controlează numai nivelul vârfurilor semnalului ce depăşesc valoarea stabilită prin prag (figura 7.7).

Scanned with OKEN Scanner

7.5. POARTA DE ZGOMOT

Poarta de zgomot acţionează ca un comutator pentru eliminarea pasajelor de zgomot de pe durata pauzelor semnalului audio. Practic, aceasta reduce amplificarea atunci când nivelul semnalului coboară sub un anumit nivel. Modul de acţiune al porţii de zgomot este prezentat în figura 7.8.

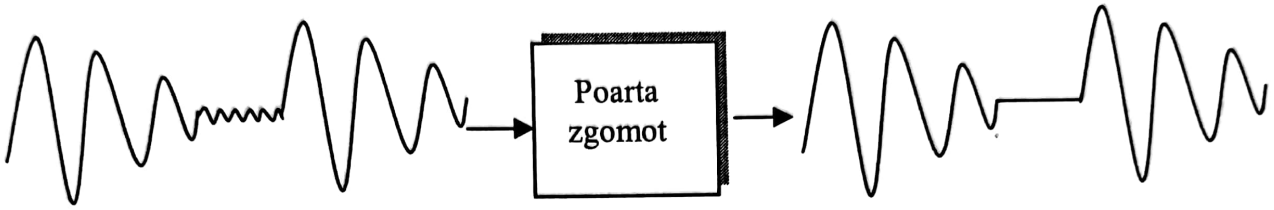


Figura 7.8. Poarta de zgomot.

Poarta de zgomot poate fi utilizată pentru eliminarea zgomotelor ce apar între bătăile tobei sau reducerea fâşâitului benzii magnetice la înregistrările multipistă. Totodată poate fi utilizată la crearea de efecte prin scurtarea duratei de generare a sunetelor în cazul tobelor.

7.6. UNITATEA DE ÎNTÂRZIERE

Unitatea de întârziere ca atare nu reprezintă un echipament cu ajutorul căruia se pot crea efecte, dar utilizată într-un echipament de mixare ajută la crearea de efecte, cum ar fi: ecou, dublare, cor sau întărirea anumitor sunete. Acţiunea unităţii de întârziere este aceea de a reproduce sunetul de la intrare sub aceeaşi formă cu o întârziere reglabilă între 1 ms şi 10 s (figura 7.9). Principalii parametri ai unităţii de întârziere sunt:

- *Domeniul de frecvenţă* asupra căruia poate genera timpi de întârziere şi care poate varia între 12 kHz şi 20 kHz.
- *Raportul semnal zgomot* - care reprezintă raportul dintre nivelul semnalului întârziat şi nivelul zgomotului şi a cărui valoare trebuie să fie mai mare de 70 dB.

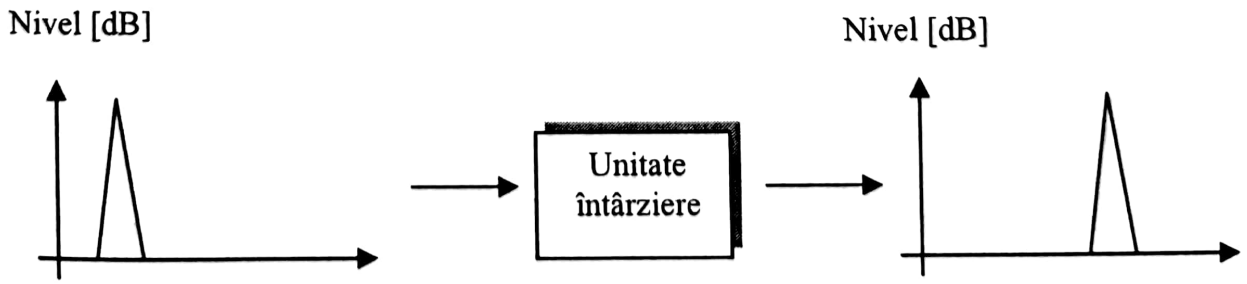


Figura 7.9. Întârzierea semnalului.

7.6.1. ECOUL

Aşa cum am arătat, unitatea de întârziere poate ajuta la crearea efectelor sonore atunci când este utilizată într-un sistem cu mixarea semnalelor. Astfel, dacă se realizează mixarea unui semnal original cu unul întârziat cu durata cuprinsă între 50 ms şi 1 s, urechea poate auzi două sunete distincte. Aceasta reprezintă practic reproducerea sunetului original cu o anumită întârziere, lucru ce se poate întâmpla în natură (figura 7.10).

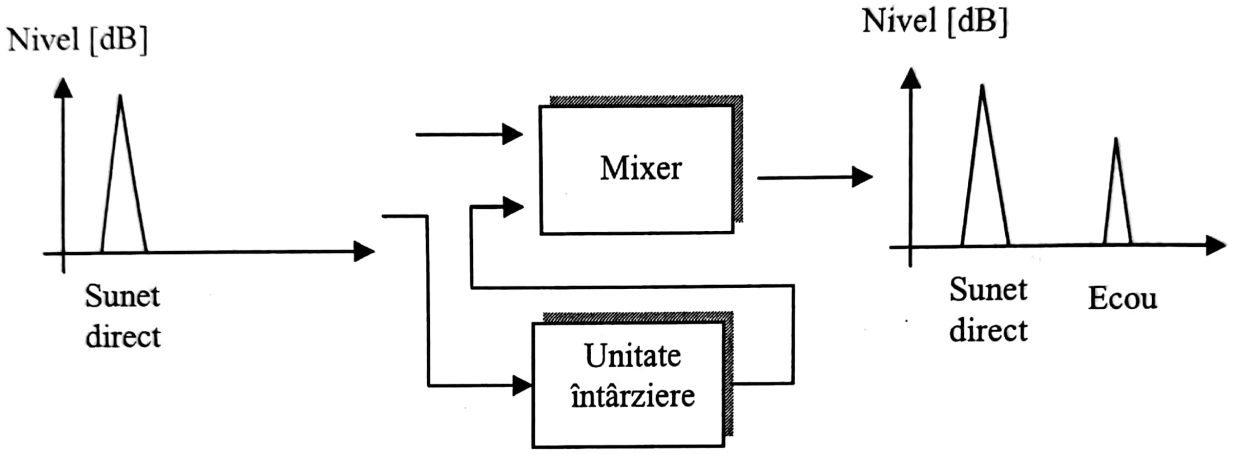


Figura 7.10. Ecoul.

Dacă unităţile de întârziere au şi proprietatea de recirculare a sunetului, atunci este posibilă obţinerea ecoului multiplu (figura 7.11), care se traduce prin repetarea de câteva ori a sunetului original, fiecare din replici având întârzieri diferite.

Ecoul multiplu este frecvent utilizat în producerea de pasaje muzicale. Astfel, prin crearea unui ecou care urmăreşte pasajul muzical, se poate crea impresia unui spaţiu exterior sau a unei case bântuită de fantome.

7.6.2. DUBLAREA

Dacă durata întârzierii este cuprinsă între 15 şi 35 ms, efectul obţinut poartă denumirea de dublare sau dublarea automată a pistei. În acest fel se realizează întărirea instrumentului sau a vocii, în special în cazul în care semnalul întârziat este transmis pe canalul complementar celui pe care se face transmisia sunetului original. Practic, acest efect este utilizat în special în cazul înregistrărilor realizate în studiouri pentru a se da o anumită „culoare" sunetului diferitelor instrumente.

Este de remarcat faptul că obţinerea dublării sunetului vocal se poate realiza şi fără a avea la dispoziţie o unitate de întârziere. Tehnica utilizată urmăreşte următoarele etape:

- Înregistrarea sunetului vocal.

Scanned with OKEN Scanner

- Redarea sincronă a sunetului pentru cântăreţ şi înregistrarea din nou a aceleiaşi melodii de către cântăreţ, care cântă împreună cu sunetul pe care îl aude.
- Redarea sincronă a celor două înregistrări.

Această tehnică a fost utilizată adesea de formaţia Beatles.

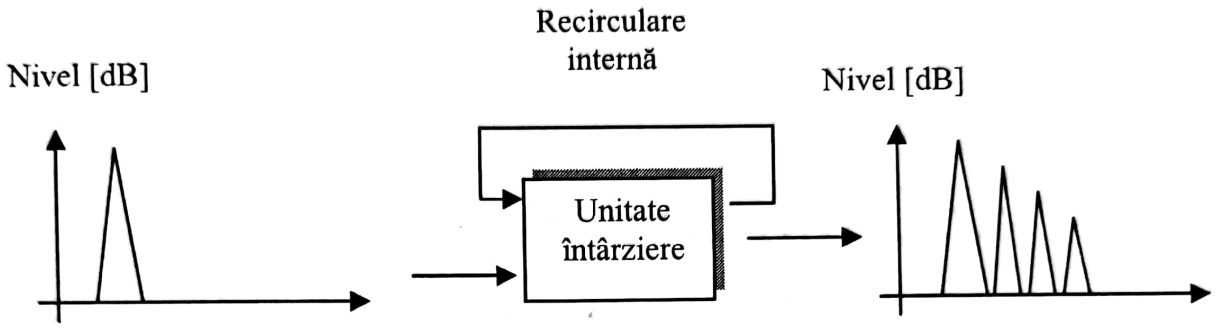


Figura 7.11. Ecoul multiplu.

7.6.3. CORUL

În cazul în care timpul de întârziere este modulat cu o frecvenţă scăzută se poate obţine efectul de cor. Practic se obţine o modulaţie în frecvenţă a semnalului întârziat.

Corul stereo - reprezintă unul din cele mai plăcute efecte. Acesta se obţine astfel: pe unul din canale se combină sunetul original cu sunetul întârziat, iar pe celălalt canal este combinat sunetul original cu sunetul întârziat inversat. Astfel se obţin maxime şi minime ale nivelului semnalului pe cele două canale decalate în timp ceea ce dă impresia de cor stereo.

Corul bas - se obţine prin eliminarea frecvenţelor joase din semnalul întârziat. Efectul este utilizat mai ales pentru chitara bas.

7.6.4. CONTURAREA (FLANGING)

Atunci când timpul de întârziere este mai mic de 20 ms, urechea nu mai este capabilă să realizeze o distincţie între sunetul direct şi sunetul întârziat. Practic, se obţine un răspuns în frecvenţă diferit faţă de unul normal. Datorită combinării între cele două semnale se obţine efectul de filtrare pieptene. În acest fel se obţine o tonalitate foarte diferită a sunetului. Modificarea duratei de întârziere conduce la modificarea poziţiei minimelor şi maximelor din semnalul rezultat.

În cazul efectului de accentuare, se realizează o modificare automată a duratei de întârziere de la 0 la 20 ms, ceea ce conduce la modificarea structurii filtrului de tip pieptene. Sunetul rezultat este deosebit, ca şi cum ar fi reprodus prin intermediul unui tub de lungime variabilă.

Scanned with OKEN Scanner

Un alt efect deosebit se poate obţine dacă la mixare se utilizează un semnal întârziat inversat. În acest caz se obţine şi o eliminare a frecvenţelor joase, valoarea minimă a frecvenţei redate modificându-se cu durata de întârziere utilizată.

Dacă există posibilitatea unei recirculări a sunetului prin aceste echipamente, atunci se obţin efecte sience fiction numite, conturări rezonante.

Un efect similar cu cel numit flanging se obţine prin înlocuirea sistemului de întârziere cu unul de defazare. În acest caz maximele şi minimele obţinute sunt mai neregulate în ceea ce priveşte spectrul de frecvenţe.

7.7. UNITATEA DE REVERBERAŢIE

Cu ajutorul acestui echipament se realizează de fapt redarea unei ambianţe sonore datorată camerelor acustice. Acest efect reprezintă o necesitate şi din acest motiv unitatea de reverberaţie constituie *primul echipament de prelucrare* necesar în cazul unei instalaţii complexe de sunet.

Reverberaţia acustică reprezintă o serie de reflexii multiple care fac ca sunetul original să persiste sau să dispară gradual. Aceste reflexii permit urechii să identifice spaţiul de ascultare. Cu ajutorul unităţii de reverberaţie se simulează sunetul obţinut într-un anumit spaţiu, prin generarea de ecouri multiple aleatorii care sunt mult prea rapide şi numeroase pentru a putea fi distinse de către ureche. Principiul reverberaţiei este prezentat în figura 7.12.

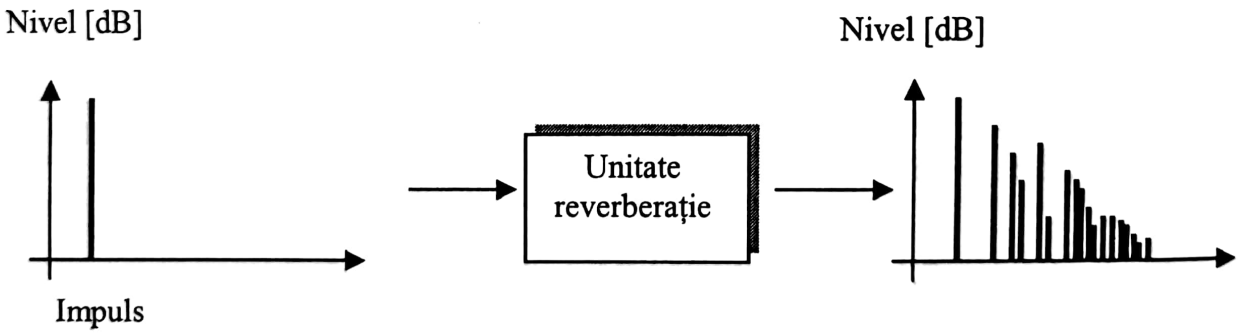


Figura 7.12. Principiul de funcţionare al unităţii de reverberaţie.

O unitate de reverberaţie numerică permite obţinerea unei multitudini de structuri de reverberaţie, fiind preferată în studiourile profesionale. Principalele caracteristici ale unei unităţi de reverberaţie sunt: posibilitatea reglării tonalităţii sunetului, reglarea timpului de întârziere, precum şi în unele cazuri a timpului de preîntârziere.

Scanned with OKEN Scanner

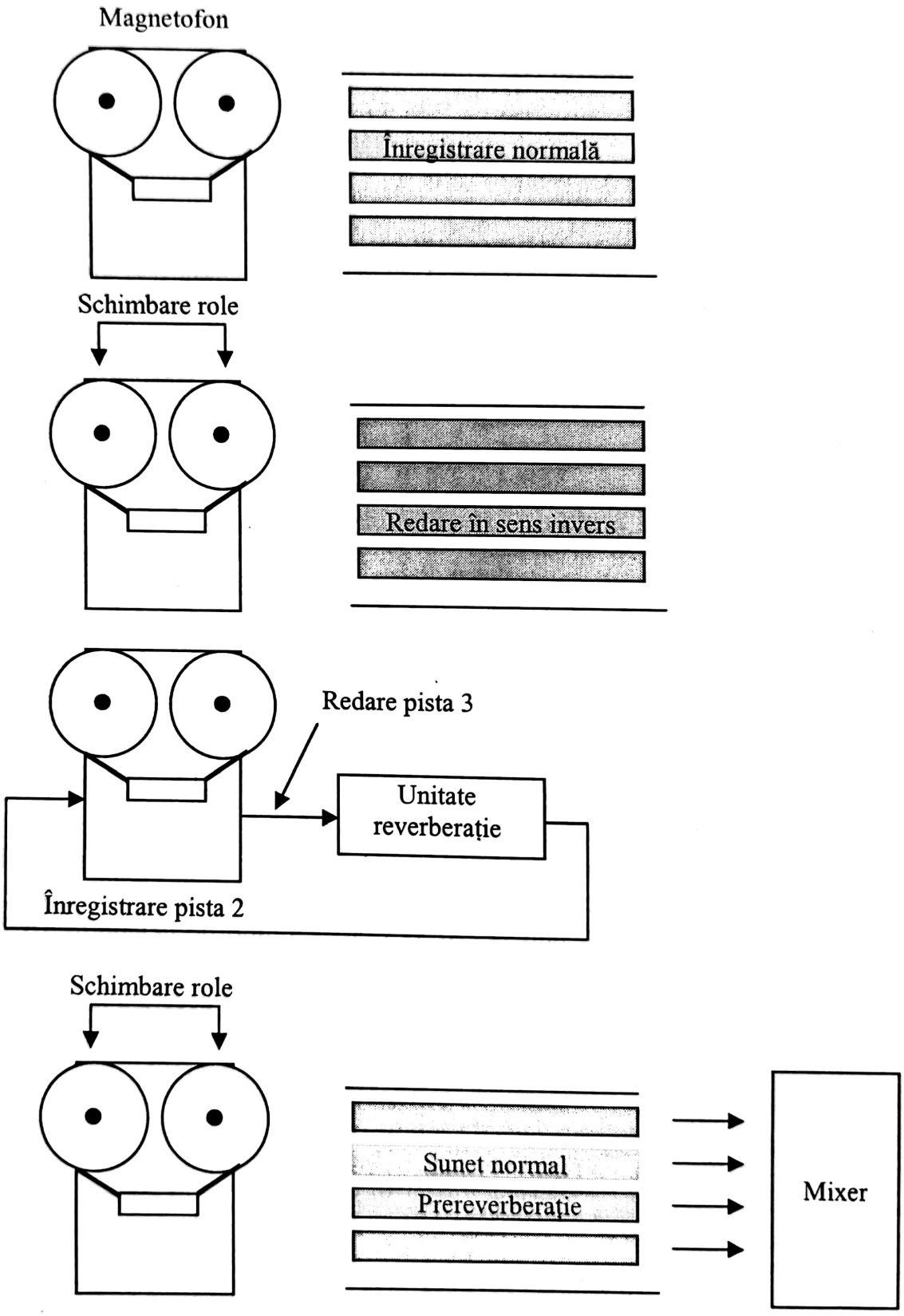


Figura 7.13. Obţinerea prereverberaţiei.

Scanned with OKEN Scanner

7.8. ALTE EFECTE SONORE

Întărire (Enhancer) - se utilizează atunci când sunetul reprodus este înfundat, nu are claritate. Principiul acestor echipamente este de a realiza realinierea armonicilor şi a fundamentalei în spectrul semnalului. Acest lucru se realizează prin divizarea în trei benzi de frecvenţă, fiecare dintre acestea fiind întârziate cu durate diferite. Un exemplu pentru timpii de întârziere utilizaţi este: 1,5 ms pentru frecvenţele joase, 1 ms pentru frecvenţele medii şi 0,5 ms pentru frecvenţele înalte. Cu ajutorul acestui echipament se poate reda sunetului claritatea şi strălucirea fără adăugarea de zgomot suplimentar, ca în cazul egalizoarelor.

Divizorul de octavă - se utilizează pentru obţinerea unor tonuri cu una sau două octave mai jos decât cel iniţial. Astfel se pot obţine frecvenţe de 41 Hz pentru frecvenţe de intrare de 82 Hz. Echipamentul acceptă semnal direct de la chitara bas. O altă metodă de obţinere a frecvenţelor joase este utilizarea unui convertor MIDI conectat direct la chitară.

Generator de armonici (Harmonizer) - utilizarea unei unităţi de întârziere cu posibilitatea modulării duratei de întârziere poate produce efecte prin translatarea tonurilor obţinute. Astfel se pot crea armonici sau schimba tonalitatea sunetului fără necesitatea schimbării duratei în program.

Prereverberaţia - se utilizează pentru producerea unui ecou sau a unei reverberaţii ce precede apariţia tonului (notei). Efectul obţinut mai poartă denumirea şi de ecou invers şi nu poate fi obţinut cu ajutorul unui echipament de prelucrare a semnalelor. Se poate obţine însă foarte uşor cu ajutorul unui sistem de înregistrare multipistă, ca în figura 7.13 [17].

Sistemele de prelucrare pot conţine unul sau mai multe efecte. Dezvoltarea tehnicilor numerice a condus la construcţia de echipamente numerice care au posibilitatea salvării efectelor produse. Cele mai multe din aceste instrumente au un răspuns în frecvenţă mai bun de 20 kHz, o rezoluţie de cel puţin 16 biţi şi pot fi controlate cu ajutorul echipamentelor MIDI. Controlul cu ajutorul echipamentelor MIDI permite schimbarea tipului de efect sau parametrii acestuia [32].

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 8

PRELUCRAREA NUMERICĂ A SEMNALULUI AUDIO

Dezvoltarea circuitelor integrate pe scară largă a condus la situația în care majoritatea sistemelor prelucrează informația sub formă digitală. Pe baza experienței acumulate s-a trecut la utilizarea tehnicii numerice şi la prelucrarea sunetului. Astăzi, în mod uzual, este utilizată tehnica numerică la înregistrarea, prelucrarea şi editarea, la costuri relativ scăzute pentru echipamente, a marii majorități a semnalelor sonore şi video profesionale, proces ce tinde să se generalizeze chiar şi în domeniul prelucrării semnalelor pentru amatori. Semnalul numeric înseamnă, în cazul semnalului audio, transformarea unui semnal analogic în semnal discret. Principalele componente ale semnalului sonor sunt frecvența (componenta în domeniul timp) şi amplitudinea (componenta ce descrie în ansamblu nivelul semnalului). În aceste condiții semnalul audio numeric poate fi obținut prin discretizarea celor două componente analogice prin: eşantionare (domeniul timp) şi cuantizare (nivelul). Deci, prelucrarea numerică a semnalului înseamnă transformarea semnalului electric într-o serie de numere binare, fiecare dintre acestea reprezentând amplitudinea semnalului la un anumit moment.

8.1. PRELUCRAREA NUMERICĂ A SEMNALELOR

8.1.1. CONVERSIA ANALOG – NUMERICĂ

Conversia semnalului analogic în semnal numeric se realizează în trei etape: eşantionare, cuantizare şi codare. Schema bloc a unui circuit de conversie analog-numerică este prezentată în figura 8.1.

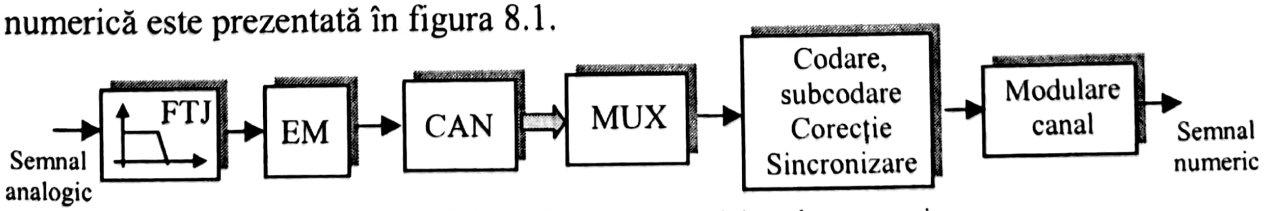


Figura 8.1. Schema bloc a conversiei analog-numerice.

8.1.2. EŞANTIONAREA

Semnalul audio, preluat prin intermediul unui traductor acustic (microfon) de la sursa de sunet, este transformat prin **eşantionare** periodică (T) într-un semnal numeric, adică într-o secvenţă de impulsuri (eşantioane), a căror amplitudine este egală cu amplitudinea semnalului continuu, la momente discrete de timp. Înainte de eşantionare, pentru evitarea erorilor de aliere [22], semnalul analogic trebuie filtrat cu un filtru trece-jos. Valoarea fiecărui eşantion este apoi memorată între două momente de eşantionare. Circuitul care realizează aceste operaţii se numeşte *circuit de eşantionare-memorare* (E-M). Formele semnalului de intrare (s_1) şi, respectiv, de ieşire (s_2) sunt indicate în figura 8.2. Se poate uşor observa că semnalul de ieşire aproximează semnalul de intrare, cu atât mai bine cu cât perioada de eşantionare este mai mică.

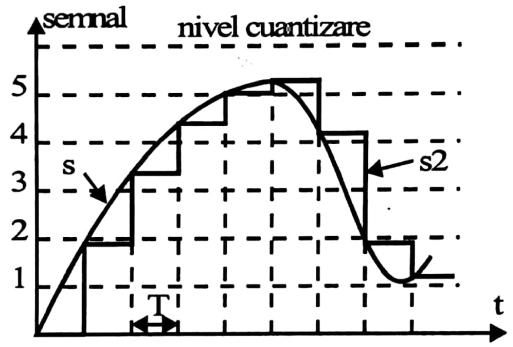


Figura 8.2. Principiul eşantionării semnalelor.

Pentru ca semnalul util să poată fi reconstituit din eşantioanele sale, trebuie să fie respectată *teorema eşantionării* [22]. Aceasta prevede ca frecvenţa de eşantionare f_E să fie de cel puţin două ori mai mare decât frecvenţa maximă din spectrul semnalului de intrare ($f_E \geq 2f_{max}$). Astfel se evită suprapunerea spectrelor oglindă, care apar în semnalul eşantionat, permiţându-se extragerea spectrului original cu un filtru trece-jos. Limitând, cu un filtru trece-jos, plasat în faţa circuitului de eşantionare-memorare, banda semnalului de intrare şi mărind corespunzător frecvenţa de eşantionare, se poate evita apariţia erorilor de aliere, menţionate mai sus.

Micşorarea frecvenţei de eşantionare până la limita $2f_{max}$ este neeconomică, datorită măririi complexităţii filtrelor analogice şi numerice. Mărirea excesivă a frecvenţei de eşantionare, deşi duce la distanţarea spectrelor oglindă, nu este indicată, datorită creşterii vitezei necesare de prelucrare a datelor. Ca soluţie de compromis, s-a adoptat un raport de 2,2 între frecvenţa de eşantionare şi frecvenţa maximă din spectrul semnalului audio de intrare. În domeniul semnalului audio, cele mai utilizate frecvenţe de eşantionare sunt prezentate în tabelul 8.1.

Aşa cum reiese şi din tabel, cea mai utilizată frecvenţă este cea de 44,1 kHz. Aceasta a fost aleasă din considerentul compatibilităţii cu frecvenţa de eşantionare în cazul utilizării sunetului pentru canalele digitale în transmisiile de televiziune. Astfel,

Scanned with OKEN Scanner

pentru norma NTSC, pentru transmisia a 3 eşantioane de sunet pe fiecare linie, frecvenţa de eşantionare necesară este:

$$3 \times 490 \times 29.97 = 44.050 \text{ Hz}, \quad (8.1)$$

iar pentru norma PAL, în aceleaşi condiţii, frecvenţa necesară este:

$$3 \times 588 \times 25 = 44.100 \text{ Hz}. \quad (8.2)$$

Deoarece a fost necesar ca frecvenţa să satisfacă cerinţele ambelor standarde, ea a fost aleasă la 44,1 kHz. Această frecvenţă îndeplineşte şi condiţia impusă prin teorema eşantionării [29].

Frecvenţele de eşantionare utilizate pentru semnalul audio *Tabelul 8.1*

Frecvenţa [kHz]	Aplicaţia
8	Telefonie. Standardul CCITT G711. Calitate audio scăzută
11,025	¼ din frecvenţa de eşantionare pentru CD, fiind folosită în calculatoare pentru aplicaţii de calitate scăzută
16	Uneori în telefonie în conjuncţie cu standardul de compresie a datelor G722
18,9	CD ROM/XA şi CD-I pentru calităţi medii ale sunetului în vederea creşterii duratei de înregistrare pentru semnalul audio
22,05	½ din frecvenţa de eşantionare pentru CD, utilizată în computere (frecvenţa originală pentru aplicaţiile Macintosh a fost de 22.254 kHz)
32	Întrebuinţată în sistemele de difuziune NICAM 3, NICAM 728 şi DAT long play
37,8	CD ROM/XA şi CD-I pentru calităţi intermediare în condiţiile utilizării ADPCM (Adaptive Delta Pulse Code Modulation)
44,056	Frecvenţă utilizată în echipamentele NTSC vechi pentru asigurarea compatibilităţii sunet şi imagine
44,1	Frecvenţa de eşantionare pentru CD. Folosită în cele mai multe echipamente de înregistrare profesionale
47,952	Abandonată. Utilizată ocazional atunci când se foloseau echipamente de 48 kHz în operaţii video NTSC
48	Frecvenţa de eşantionare pentru echipamente profesionale specificată în standardul AES-5/1984, fiind utilizată pentru înregistrarea benzii audio la sistemele video digitale şi în marea majoritate a sistemelor DAT
88,2 şi 96	Frecvenţe duble faţă de cele standard fiind utilizate în echipamente DAT nestandard

Scanned with OKEN Scanner

8.1.3. CUANTIZAREA

Prin **cuantizare** se atribuie fiecărui eşantion o valoare discretă, aleasă dintr-o mulţime finită de valori. Astfel, domeniul de variaţie a semnalului audio este împărţit într-un număr întreg de intervale, numite *intervale de cuantizare.* Valorile eşantioanelor sunt rotunjite în plus sau în minus, până la cel mai apropiat nivel de cuantizare.

Precizia prelucrării semnalului numeric este determinată de numărul nivelurilor de cuantizare. Cu cât numărul acestor niveluri este mai mare, cu atât eroarea de aproximare este mai mică. Utilizând un convertor analog-numeric CAN de n biţi, rezultă 2^n niveluri de cuantizare şi $2^n - 1$ intervale de cuantizare.

Eroarea de cuantizare este definită ca diferenţa dintre valoarea reală s_1 a semnalului eşantionat şi valoarea cuantizată s_1^*. Valoarea acestei erori este $\pm\frac{q}{2}$, unde q reprezintă raportul dintre nivelul maxim al semnalului şi numărul nivelurilor de cuantizare. Dacă nivelul semnalului este suficient de ridicat, eroarea de cuantizare poate fi echivalată cu un zgomot alb, necorelat cu semnalul util. În aceste condiţii raportul semnal/zgomot pentru un semnal având amplitudinea egală cu gama dinamică a semnalului este proporţional cu $6n$ dB, n fiind numărul de biţi ai convertorului analog-numeric [44].

Domeniul dinamic obţinut în condiţiile unei cuantizari liniare *Tabelul 8.2.*

Nr.biţi	Domeniu dinamic	Aplicaţie
8	44	Calitate medie. Utilizat în plăcile de sunet ale calculatoarelor vechi
12	68	Sistemele Akai vechi
14	80	Sistemele EIAJ cu adaptare în format PCM
16	92	CD şi DAT standard. Utilizate în cele mai multe sisteme de uz curent şi în cele profesionale
20	116	Aplicaţii profesionale de înaltă calitate şi crearea de matriţe
24	140	Rezoluţie maximă pentru cele mai noi sisteme de înregistrare şi interfeţele digitale. Domeniul dinamic este peste domeniul dinamic al urechii iar convertoarele sunt greu de implementat

În tehnica audio-numerică se foloseşte cuantizarea cu 2^8, 2^{12}, 2^{14} sau 2^{16} niveluri. Pentru echipamentele de studio, numărul nivelurilor de cuantizare poate fi chiar mai mare (2^{20} sau chiar 2^{24}) [45]. Astfel un sistem pe 16 biţi este, teoretic,

Scanned with OKEN Scanner

capabil de o rezoluție dinamică de 96 dB. Din păcate acest lucru nu este posibil datorită modulației suplimentare ce apare și a zgomotului convertoarelor. În tabelul 8.2 este prezentat domeniul dinamic obținut în urma unei cuantizari liniare a semnalului de sunet ținând cont de dither.

Zgomotul de cuantizare este dependent de intervalul de cuantizare. Distorsiunile datorate zgomotului de cuantizare pot apare la niveluri mici ale semnalului util, comparabile cu intervalul de cuantizare, mai ales dacă frecvența acestor componente este apropiată de limita superioară din banda de trecere. În astfel de situații, erorile de cuantizare pierd caracterul aleator și necorelat, determinând o puternică distorsionare a semnalului. Situația poate fi evitată alegând limita intervalului de cuantizare sub pragul de audibilitate al urechii sau folosind o cuantizare neliniară, cu intervale mici de cuantizare pentru semnale cu niveluri scăzute și intervale mari pentru semnale cu nivel ridicat (*modulația delta*).

8.1.4. CODAREA

Codarea este operația prin care se atribuie fiecărei valori a semnalului cuantizat un cuvânt de cod, adică un set de numere binare, conform unui anumit cod. Cuantizarea cu 2^8, 2^{12}, 2^{14} sau 2^{16} niveluri presupune codarea cu cuvinte de cod formate din *n* biți (n = 8, 12, 14 sau respectiv 16 biți).

În schema bloc din figura 8.1, operațiile de cuantizare și codare sunt realizate de *convertorul analog-numeric* CAN. Acesta furnizează la ieșire, în fiecare perioadă *T* a semnalului de eșantionare, cei *n* biți ai semnalului codificat. Semnalul paralel rezultat este apoi serializat cu un *multiplexor* MUX, care transferă pe rând, bit cu bit, semnalul binar pe canalul numeric de sunet. În cadrul acestui bloc se realizează o reprezentare liniară a datelor.

În continuare, semnalele binare corespunzătoare semnalului codificat sunt regrupate și rearanjate, ataşându-li-se totodată și un număr de biți suplimentari, necesari pentru *detectarea și corectarea erorilor*, care pot apare la transmiterea și citirea datelor, obținuți din chiar biții de informație. Rezultă noi cuvinte de cod, corespunzătoare *codului corector de erori* utilizat. Posibilitatea corectării erorilor reprezintă unul din avantajele majore ale sistemelor numerice, față de cele analogice.

Pentru a se permite sistemelor de redare preluarea unor comenzi suplimentare, referitoare la ordinea de citire a pasajelor înregistrate, repetarea unor secvențe, afișarea unor date privitoare la conținutul înregistrării sau la timpul de redare, se pot introduce în cod informații suplimentare, într-un bloc separat, numit *bloc de subcodare*. Acestea sunt așa-numitele coduri de adresă, de identificare și de timp.

În final, semnalul suferă o nouă transformare, modularea de canal, prin care se adaptează caracteristicile sursei de semnal cu cele ale canalului de înregistrare (bandă sau disc) sau de comunicație.

Scanned with OKEN Scanner

8.1.5. CONVERSIA NUMERIC-ANALOGICĂ

La redare se parcurg aceleaşi etape, în ordine inversă decât la înregistrare. Schema bloc a sistemului de conversie numeric-analogică este prezentată în figura 8.3.

Semnalul recepţionat sau citit de pe mediul de înregistrare este demodulat, extrăgându-se cuvintele de cod ale informaţiei utile (sau subcodate), se corectează erorile de citire sau de transmisie şi se decodifică, extrăgându-se informaţia utilă din formatul cuvântului codat cu codul corector. După conversia numeric-analogică (CNA), semnalul este filtrat, pentru a se elimina componentele parazite de înaltă frecvenţă introduse prin eşantionare şi este aplicat amplificatorului final audio.

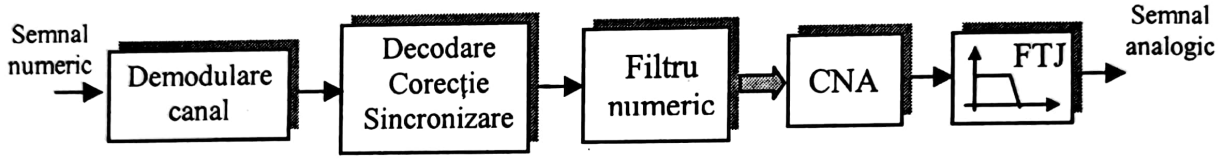


Figura 8.3. Schemă bloc conversie numeric-analogică.

Parametrii procesului de conversie analog-numerică se aleg astfel încât să se obţină calitatea dorită a semnalului audio reprodus. Pentru minimizarea cantităţii de date stocate, trebuie să se ţină seama atât de proprietăţile statistice ale semnalului audio, cât şi de factorii psihoacustici, care determină gradul de percepţie a unor componente de semnal în funcţie de parametrii şi condiţiile în care evoluează.

8.2. CODAREA PSIHOACUSTICĂ

Informaţia audio numerică reprezintă un volum foarte mare de date. De exemplu, înregistrarea PCM (modulaţia impulsurilor în cod) a 60 de minute de selecţii muzicale stereo, la o frecvenţă de eşantionare de 44,1 kHz cu 16 biţi pe eşantion, necesită:

$$2 \times 44{,}1 \times 16 \times 3600 \times 10^3 = 4844{,}97 \text{ Mbiţi} = 605{,}62 \text{ Mocteţi.} \qquad (8.3)$$

Prin urmare, debitul de date ce trebuie înregistrat este:

$$2 \times 44{,}1 \times 16 \times 10^3 = 1{,}345 \text{ Mbiţi/s.} \qquad (8.4)$$

Pentru obţinerea unei înregistrări sau transmisii de înaltă calitate, suplimentar faţă de datele audio, trebuie realizate corecţii de erori, sincronizări, codare de canal etc., ceea ce duce la mărirea debitului de date necesar la aproximativ 2 Mbiţi/s.

O soluţie o reprezintă codarea informaţiei cu reducerea ratei de biţi. Pentru aplicaţii cum ar fi multimedia, difuziune, comunicaţii se realizează o reducere importantă a debitului fără ca aceasta să influenţeze calitatea sunetului perceput.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece simpla reducere a debitului de date prin subeşantionare sau reducerea numărului de biţi pe eşantion poate avea efecte importante asupra calităţii sunetului, tehnicile moderne de codare utilizează pentru reducerea ratei de biţi proprietăţile urechii. Cea mai utilizată caracteristică a urechii este fenomenul de mascare.

Principiul de funcţionare a acestei tehnici de codare este prezentat în figura 8.4 [45]. Aşa cum se observă din figură, semnalul numeric este descompus într-un număr de benzi înguste corespunzătoare spectrului audio. În paralel cu aceasta se aplică acelaşi semnal unui model al urechii umane care analizează o porţiune a acestui semnal.

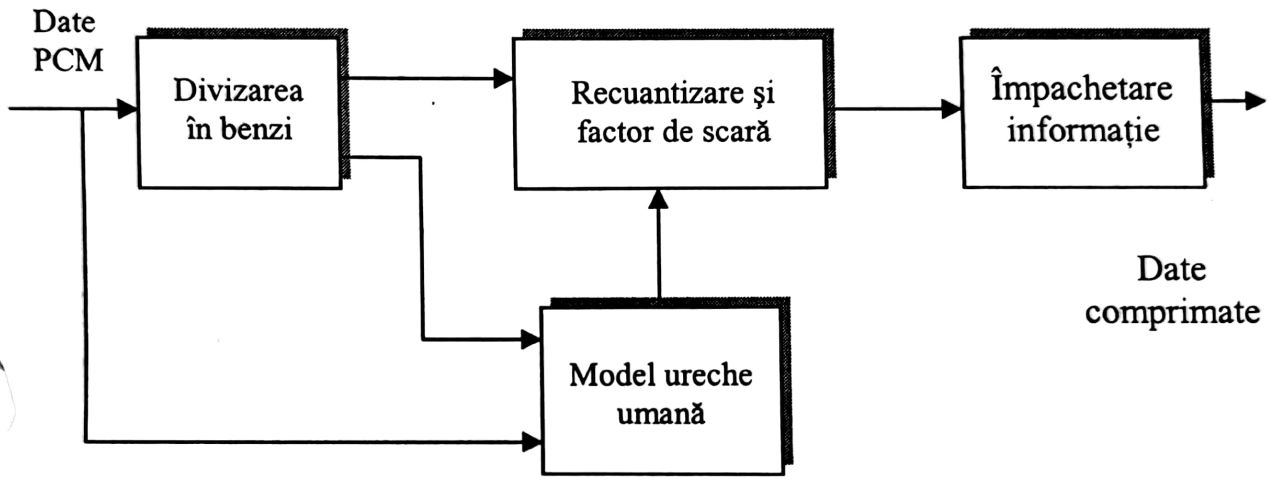


Figura 8.4. Schema bloc generalizată a sistemului de codare psihoacustic.

Analiza este apoi utilizată pentru determinarea componentelor spectrale ale semnalului, ce vor fi mascate şi în ce grad. Pentru benzile în care există semnale puternice, zgomotul de cuantizare poate fi crescut fără un risc considerabil întrucât mascarea este foarte puternică (figura 8.5). Prin această metodă nivelul zgomotului este păstrat sub pragul de mascare fiind indistinctibil în orice bandă [28].

Blocurile de date audio ale fiecărei benzi sunt rescalate (semnalele de niveluri scăzute se amplifică, după care se reduce rezoluţia acestora (recuantizare) prin reducerea numărului de biţi al fiecărui eşantion. Procesul de reeşantionare este controlat în funcţie de modelul audiţiei astfel încât calitatea sunetului să nu se altereze. Împreună cu semnalul audio se trimite un semnal de control necesar la recepţie pentru decodarea datelor.

Procesul prezentat este repetat la fiecare câteva milisecunde pentru a se reactualiza modelul de maşcare. Implementarea acestui procedeu poate conduce la reducerea debitului de aproximativ 4 ori. Acest model de codare a fost ales pentru codarea sunetului numeric la transmisiile în difuziune DAB (Digital Audio Broadcasting). Pe lângă acest model mai există şi alte aplicaţii similare pentru sistemele de înregistrare pe bandă sau disc (PASC-Precision Audio Subband Coding

Scanned with OKEN Scanner

la DCC-Digital Compact Cassette, DAT-Digital Audio Tape, MiniDisc, DVD-Digital Video Disc), sau sunetul numeric în cinematografie (Dolby SR-D, Sony SDDS, DTS).

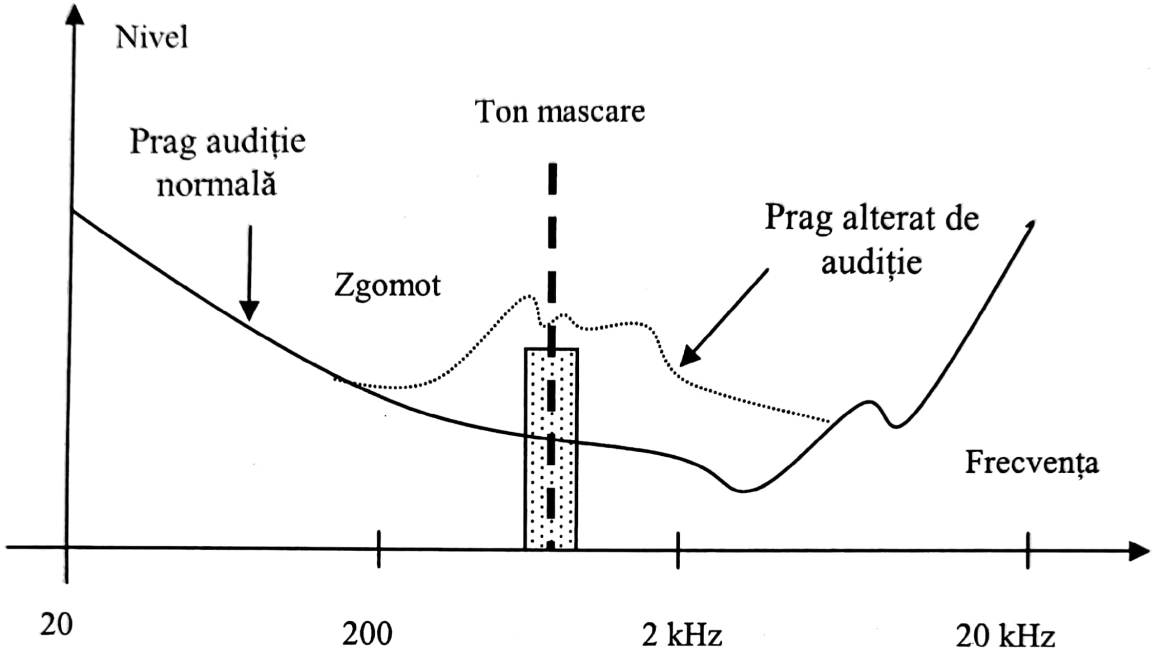


Figura 8.5. Efectul de mascare al zgomotului datorat unui anumit ton.

8.3. CODAREA DE CANAL UTILIZATĂ PENTRU SEMNALE NUMERICE DE SUNET

Deoarece datele binare brute nu sunt corespunzătoare înregistrării directe pe bandă magnetică sau a transmisiei pe canalele de comunicații, se utilizează coduri de canal care realizează: adaptarea la caracteristicile sistemului de înregistrare sau transmisie, utilizarea mai eficientă a spațiului de stocare şi refacerea cu uşurință a datelor la recepție. Există foarte multe coduri de canal, fiecare având caracteristicile proiectate unui anumit scop. Putem deci defini codarea de canal ca fiind transformarea structurii datelor într-o nouă structură compatibilă cu mediul de transmisie sau stocare, sau ca fiind o modulare a semnalului [45].

Cele mai multe coduri de canal sunt proiectate în aşa fel încât componenta de curent continuu să fie cât mai mică în scopul efectuării transmisiei prin transformatoare de cuplaj, iar altele sunt proiectate pentru banda îngustă sau componenta de frecvență maximă impusă.

Scanned with OKEN Scanner

8.3.1. CODURI DE CANAL UTILIZATE ÎN INTERFEȚELE NUMERICE

Codarea de canal implică încorporarea împreună cu datele a unui semnal de sincronizare pentru a se putea reface semnalul de date şi sincronizare la recepție. Cel mai simplu cod de canal, care conține şi semnalul de sincronizare, este aşa-numitul cod cu modulare în frecvență sau Manchester (figura 8.6).

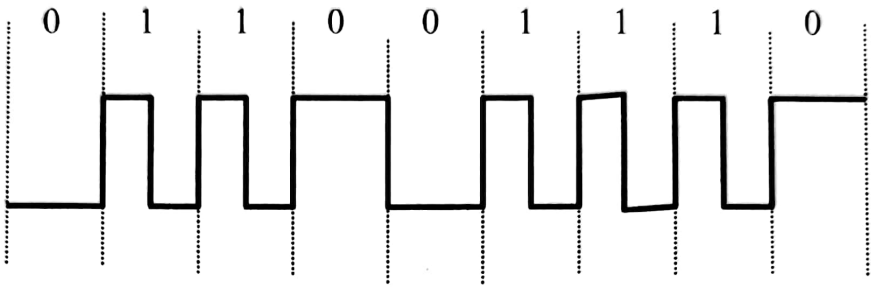


Figura 8.6. Codul Manchester.

El mai este cunoscut şi sub denumirea de cod cu fază dublă cu marcare. Acest cod este specific standardului AES/EBU, la ora actuală fiind utilizat doar în acele situații în care densitatea informației nu este de primă importanță.

Codarea se obține foarte uşor din datele inițiale prin introducerea unei tranziții la sfârşitul fiecărui bit de date şi a uneia la mijlocul fiecărui interval în care informația este pe 1 logic.

Un alt cod simplu este codul MFM sau Miller. Acesta se obține din codul Manchester în care se obține tranziție la mijlocul fiecărui interval în care data este 1 logic (figura 8.7).

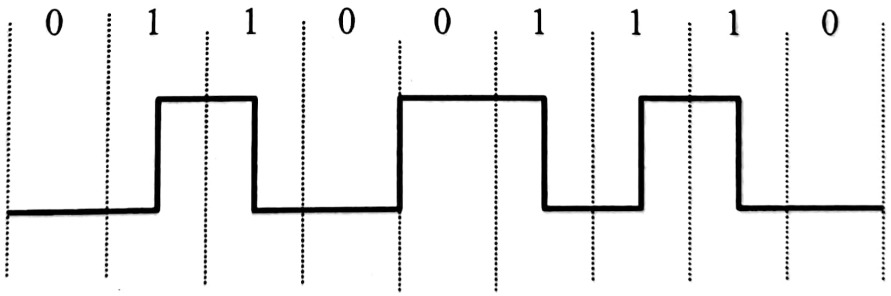


Figura 8.7. Codul Miller.

În cazul acestui cod se reduce conținutul redundant al informației de sincronizare, dar fără îmbunătățirea performanțelor în ceea ce priveşte jitterul. De asemenea, acest cod poate avea şi componentă continuă, ceea ce se constituie într-un dezavantaj atunci când este utilizat în transmisii prin transformatoare de cuplaj. Un cod derivat din codul Miller este codul Miller^2 (figura 8.8), care realizează eliminarea

componentei continue prin creşterea complexităţii sistemului de codare. Acest cod se obţine din codul Miller prin omiterea ultimei tranziţii pe intervalul în care avem un 1 logic, în cazul în care între doi de zero există un număr par de 1.

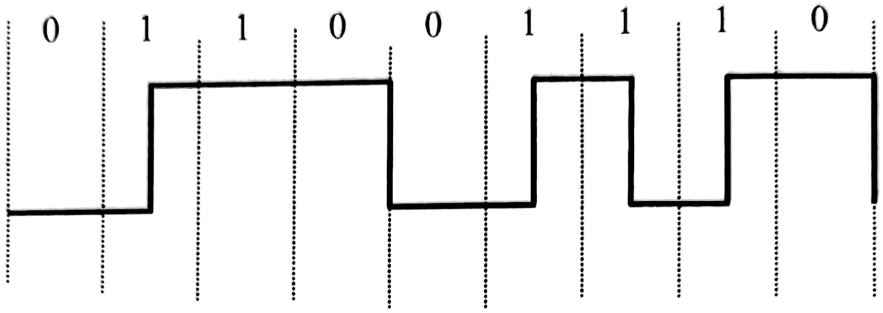


Figura 8.8. Codul Miller[2].

8.3.2. CODURI GRUP

O îmbunătăţire a codurilor de canal a survenit atunci când s-a trecut la utilizarea codurilor de grup. Acestea utilizează pentru transformarea structurii codurilor aşa numitul tabel de corespondenţe „codebook". Astfel, dacă pentru un simbol de date utilizăm m biţi, atunci avem 2^m combinaţii diferite pentru reprezentarea datelor. În aceste condiţii dacă utilizăm pentru reprezentarea datelor un număr de n biţi ($n>m$), atunci putem elimina acele secvenţe care nu sunt corespunzătoare canalului. În acest caz pot fi eliminate un număr de:

$$2^n - 2^m \quad \text{structuri.} \tag{8.5}$$

Acest cod poartă numele de cod de grup iar cel mai important parametru este raportul m/n, care reprezintă rata codului. Alegerea structurii este în acest caz determinată de un compromis între: informaţia de sincronizare, banda şi componenta continuă. Caracteristicile cele mai importante ale codurilor de grup sunt perioada minimă, care reprezintă numărul minim de biţi cu valoare zero, care mai poate reprezenta şi densitatea:

$$T_{\min} = \frac{(d+1)m}{n}. \tag{8.6}$$

Perioada maximă, care reprezintă numărul maxim de biţi cu valoare zero

$$T_{\max} = (k+1)\frac{m}{n}. \tag{8.7}$$

Aceste coduri mai poartă denumirea şi de coduri cu lungime limitată. În practică, joncţiunea a două canale adiacente poate fi o excepţie de la regula de codare, motiv pentru care este necesară stabilirea unei tabele de coduri care să transforme

codurile care fac această excepție într-o structură conformă cu cea normală. Codurile prezentate sunt cunoscute ca fiind coduri de contopire, a căror regulă este aceea de a elimina posibilitatea apariției de simboluri ce fac excepție de la regula de codare, fiind utilizate în practică pentru diferite sisteme.

a. CODUL 2/3

Tabelul de codare pentru codul 2/3 este prezentat în figura 8.9.a. Acest cod a fost proiectat în așa fel încât să aibă un jiter cât mai bun pentru a rezista distorsiunilor ce apar la discuri, dar și cu o bună densitate.

Date	Cod
00	101
01	100
10	001
11	010

a)

Date	Cod ilegal	Cod de substituire
0000	101101	101000
0001	101100	100000
1000	001101	001000
1001	001100	010000

b)

Figura 8.9. Tabele de codare pentru codul 2/3.

Se poate observa (figura 8.9.b) că există combinații de date care pot conduce la excepții de codare. În acest caz perechile de biți sunt înlocuite cu alte șase simboluri. Codul este utilizat pentru codare în cadrul sistemelor de discuri Winchester.

b. CODUL 4/5

Codul 4/5 transformă reprezentarea grupurilor de patru biți în grupuri de cinci și este utilizat în sistemele MADI (Multi-channel Audio Digital Interface). Figura 8.10 prezintă cele 16 combinații alese din cele 32 de posibilități. Alegerea a fost făcută în așa fel încât să se obțină cea mai mică componentă continuă și cel mai mare conținut de informație de sincronizare.

Scanned with OKEN Scanner

Date pe patru biţi	Date codate pe 5 biţi
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101
Sincronizare	11000
Sincronizare	10001

Figura 8.10. Tabelul de codare pentru codul 4/5.

c. CODAREA EFM (8/14)

Sistemul de codare EFM (Eigth to Fourteen Modulation) este utilizat în sistemele CD, simbolurile de date de 8 biţi fiind reprezentate prin simboluri de canal de 14 biţi [26], [28].

Având în vedere condiţiile impuse codului, şi anume lungimea minimă şi maximă a zerourilor, din cele 16.384 combinaţii rezultă doar 267 combinaţii posibil a fi utilizate. Din acestea 2 sunt utilizate pentru cuvintele de sincronizare, 256 pentru simbolurile de informaţie, iar celelalte vor fi eliminate. Un exemplu de alocare a biţilor este prezentat în figura 8.11, din care se observă că alocarea este aleatorie (prin aleatorie se înţelege faptul ca simbolurile succesive de 8 biţi nu primesc simboluri succesive de 14 biţi).

Cuvintele EFM succesive nu pot fi legate pur şi simplu între ele, deoarece există posibilitatea violării lungimii maxime sau minime impuse. Din acest motiv se impune utilizarea a 3 biţi de legătură, al căror rol este de:

- asigurarea menţinerii proprietăţilor codului,
- eliminarea componentei continue,
- facilitarea sincronizării.

Scanned with OKEN Scanner

Date	Cod canal
00000000	01001000100000
00000001	10000100000000
00000010	10010000100000
01100100	01000100100010
01101001	10000001000010
01101101	00000001000010
01110000	10000000100010
01111000	01001000000010
01111111	00100000000010

Figura 8.11. Exemplu de alocare al biților de canal pentru codarea EFM.

Pentru aceasta ar fi suficienți doar doi biți de "0", în cazul în care poate apărea un "1" înaintea a trei perioade față de ultimul "1" din transmisie, sau un "1", dacă există posibilitatea unei succesiuni de mai mult de 10 zerouri.

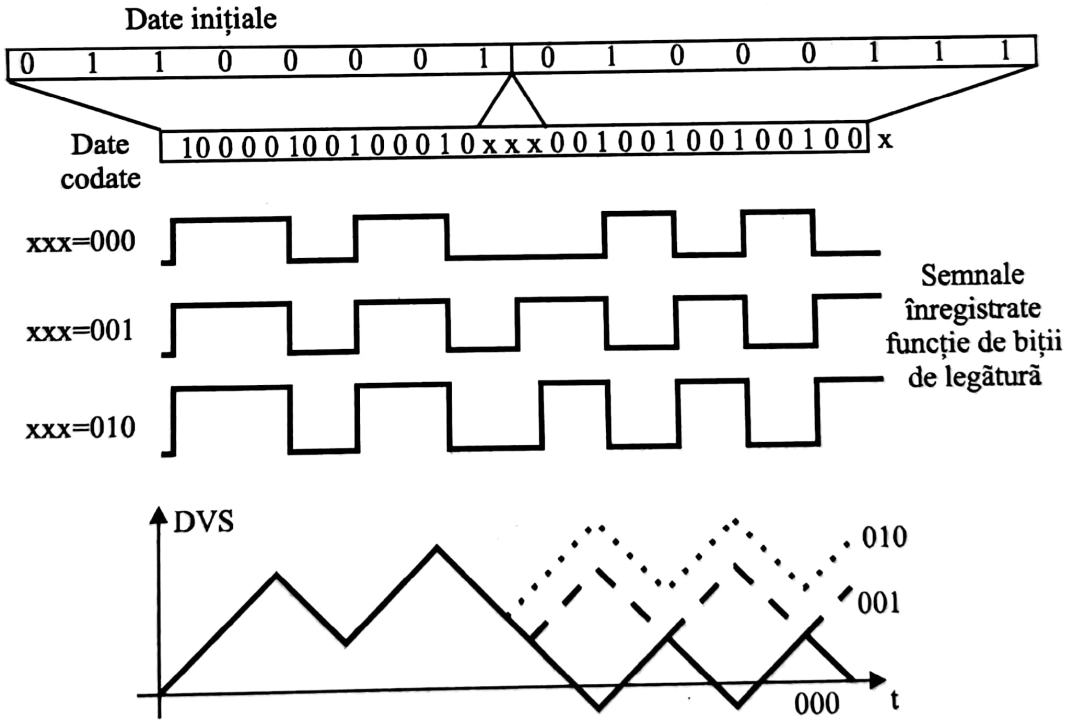


Figura 8.12. Efectul biților de legătură asupra semnalului DSV.

Cel de-al treilea bit este adăugat pentru controlul frecvențelor joase, mai precis pentru eliminarea (micşorarea) componentei continue ce apare. Aceasta se poate obține prin *suma digitală a valorilor* DSV (*Digital Sum Value*), obținută prin

adăugarea valorii +1 pentru fiecare "1" logic, respectiv un –1 pentru fiecare "0" logic. Un exemplu pentru determinarea acestor biți este prezentat în figura 8.12.

d. CODAREA 4/6M

Sistemul este utilizat pentru formatul de înregistrare multipistă ProDigi. În acest caz codarea de canal se efectuează prin transformarea datelor de intrare din grupuri de 4 biți în grupuri de șase biți sau din grupuri de șase biți în grupuri de 9 biți, în funcție de structura datelor (figura 8.13).

Date	Codul de canal
0000	010000
000100	X00010001
001000	010000001
001111	010100000
0100	010010
1000	X01001
1011	X01010
1100	X00000
1111	010101

Figura 8.13. Exemple de codare 4/6 M.

Într-o astfel de codare primul bit pentru noul grup este diferit de ultimul bit de canal al grupului precedent. Astfel se asigură faptul că nu vor exista niciodată doi biți adiacenți a căror valoare să fie 1 logic.

e. CODAREA 8/10

Trăsătura fundamentală a codului folosit la sistemele DAT este aceea că trebuie sa fie capabil să lucreze în condiții bune pentru sistemele de înregistrare cu azimut. Necesitatea eliminării diafoniei reclamă în cazul acestor coduri nu numai eliminarea componentei continue, ci și a componentelor de frecvență joasă. Un alt element important pentru sistemele DAT îl constituie ștergerea prin suprascriere, motiv pentru care este necesar ca diferența dintre lungimea de undă cea mai scurtă și cea mai lungă să fie cât mai mică.

Întrucât din analiza cuvintelor de cod de zece biți s-au găsit numai 153 combinații cu componenta continuă nulă, care îndeplinesc condițiile cerute de codarea de canal, pentru celelalte 103 se utilizează cuvinte de cod având componentă continuă dar în așa fel încât componenta continuă totală rezultată sa fie nulă. Astfel, după utilizarea unui cuvânt de cod având o anumită componentă continuă, pentru următorul

Scanned with OKEN Scanner

cuvânt de cod având componenta continuă se utilizează un cuvânt ce are DSV negativ. În figura 8.14 sunt prezentate câteva combinații ale codului 8/10.

Date 8 biți	Cuvântul de cod pe 10 biți	DSV	Cuvântul de cod alternativ	DSV
00010000	1101010010	0		
00010001	0100010010	2	1100010010	-2
00010010	0101010010	0		
00010011	0101110010	0		
00010100	1101110001	2	0101110001	-2
00010101	1101110011	2	0101110011	-2
00010110	1101110110	2	0101110110	-2
00010111	1101110010	0		

Figura 8.14. Câteva simboluri de canal ale codului 8/10 şi cuvintele de cod alternative.

8.4. CORECȚIA ERORILOR

Corecția erorilor, posibilă în cazul semnalelor analogice, este obligatorie pentru stocarea datelor numerice. Pentru sistemele numerice există, în general, două etape pentru corecția erorilor, şi anume: etapa de detecție şi etapa de corecție. Erorile ce se obțin în sistemele numerice sunt de două tipuri, şi anume: erori aleatorii care apar cu o anumită rată şi erori de pierdere a sincronismului în care se pierd mai multe eşantioane succesive.

Corecția erorilor este, în principiu, realizată prin înregistrarea unor biți redundanți. În realitate ea este mult mai complicată decât o simplă schemă de redundanță. Problema principală care se pune în acest caz este cât de mari şi cât de multe sunt erorile pe care dorim să le corectăm.

De exemplu, în cazul unei redundanțe simple: la transmiterea informației de două ori sau de trei ori, există posibilitatea de a nu putea lua decizia corectitudinii uneia din secvențe, dacă semnalele recepționate sunt diferite în cazul redundanței duble sau dacă toate cele trei coduri sunt diferite în cazul redundantei triple.

O simplă repetare a codului nu este eficientă, redundanța trebuind să se constituie ca o informație suplimentară derivată din informația originală şi, în general, cu cât această redundanță este mai mare, cu atât corecția erorilor este mai bună.

În practică, redundanța conținută în codurile detectoare şi corectoare de erori constă, de cele mai multe ori, în determinarea parității fiecărui cuvânt de date şi adăugarea unui bit de paritate. Pentru corecție, în esență, sunt necesari mai mulți biți

Scanned with OKEN Scanner

de paritate, iar algoritmul utilizat pentru selecția biților de paritate determină performanțele de corecție a erorilor pentru cod.

De-a lungul timpului au fost create mai multe coduri de corecție a erorilor, ca de exemplu codurile de tip Hamming, Reed-Solomon, precum și metoda întrețeserii.

- Codurile Hamming obțin mai mulți biți de paritate prin combinația biților de date, putându-se construi un cod simplu care detectează două erori și corectează una.
- Codurile Reed-Solomon pot corecta și detecta un număr mai mare de erori, utilizând împachetarea datelor.
- Metoda întrețeserii redistribuie simbolurile inițiale, în altă ordine, simbolurile consecutive nefiind niciodată adiacente, ca în forma originală. În cazul existenței unor erori prin decodare acestea sunt distribuite și niciodată, sau de cele mai multe ori, pentru o eroare rezonabilă ca dimensiune, nu există erori consecutive.

Întrețeserea este utilă, în mod special, în cazul unor erori lungi de sincronizare, deoarece prin decodare aceste erori sunt distribuite și, devenind erori aleatoare, pot fi mai ușor corectate.

Un exemplu al acestui tip de codare este prezentat în figura 8.15. Metoda pare complicată, dar poate fi ușor implementată prin utilizarea unei simple întârzieri în cuvintele de date ce se înregistrează, decodarea realizându-se printr-o întârziere complementară la redare.

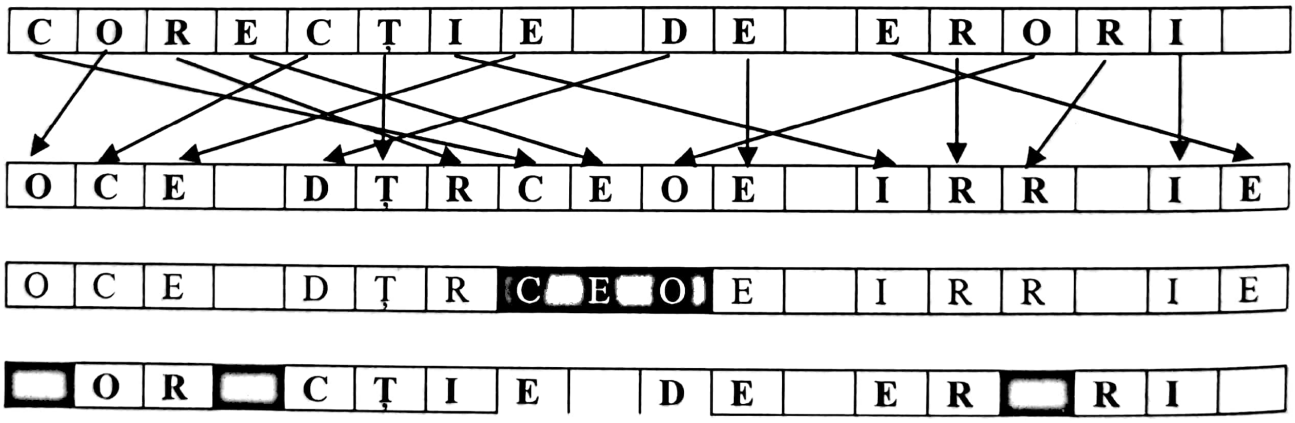


Figura 8.15. Principiul codării cu întrețesere.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 9

INTERFEȚE AUDIO NUMERICE

9.1. INTRODUCERE

Interfețele digitale audio sunt destinate în principal realizării adaptării între instrumentele şi echipamentele digitale şi cele analogice. Acestea pot fi clasificate în două categorii: cele care au fost standardizate internațional şi cele care aparțin unor producători. Dintre acestea din urmă unele s-au impus fiind utilizate şi de alți producători de echipamente audio. Aceasta a fost urmare a faptului că, fie nu au existat alte alternative la momentul respectiv, fie a fost necesară asigurarea compatibilității. O altă clasificare depinde de numărul de canale audio prelucrabile. Din acest punct de vedere există interfețe pentru unul sau două canale şi interfețe pentru mai multe canale.

Lupta pentru impunerea unui standard este una de durată, în care sunt antrenate foarte multe interese financiare. Privind din acest punct de vedere, poate fi evidențiat faptul că a apărut aşa-numitul standard „de facto" impus de piață şi care s-a format din standardele propuse de corporațiile internaționale independente. În domeniul audio standardizarea a fost condusă de către cei de la AES (Audio Engineering Society). Aceasta, deşi este o societate profesională şi nu una specializată pentru standardizări, a fost prima care a inițiat standardizarea în domeniul interfețelor audio prin recomandările publicate în documentul AES3-1985 ele stând la baza tuturor standardelor internaționale cu privire la interfețele cu două canale.

Alte organizații angrenate în lupta pentru impunerea unui standard în domeniul audio şi în special pentru interfețele digitale au fost:

- ANSI - American National Standards Institute,
- EBU - European Broadcasting Union,
- CCIR - International Radio Consultativ Comiteee,
- IEC - International Electrotechnical Commision,
- EIAJ - Electronic Industries Association of Japan,
- BSI - British Standards Institute.

Interfaţa utilizator are rădăcini din implementarea primei interfeţe digitale pentru sistemul CD, care a avut la bază standardul AES3, dar cu modificări în ceea ce priveşte formatele numerice ale informaţiei non-audio. Aceasta se mai numeşte şi SPDIF (Sony-Phiplis Digital InterFaces).

9.2. INTERFAŢA STANDARD PENTRU DOUĂ CANALE

Ceea ce este comun tuturor standardelor elaborate pentru interfaţa de două canale este formatul datelor pentru blocul ce conţine informaţia audio a fiecărui canal.

9.2.1. FORMATUL DATELOR

Interfeţele sunt seriale şi sunt cu autosincronizare. Aceasta înseamnă că cele două canale numerice audio sunt multiplexate pe un acelaşi canal prin combinarea lor cu un semnal de sincronizare, în aşa fel încât acesta să poată fi regenerat şi utilizat la recepţie. Structura cadrului de date este prezentată în figura 9.1 [21]. După cum rezultă din figură, cadrul poate fi divizat în două blocuri, fiecare din ele reprezentând un canal. Canalele pot fi două semnale mono independente sau pot constitui câte un canal al unui semnal stereo.

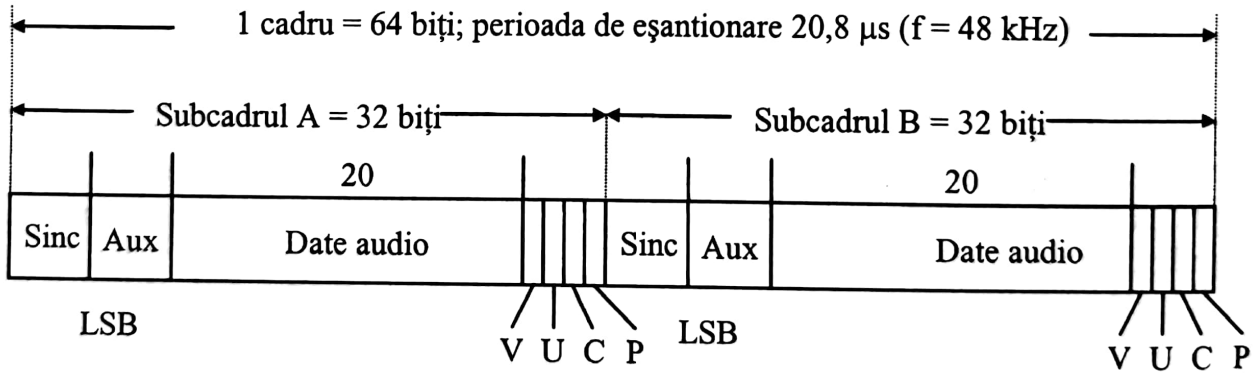


Figura 9.1. Formatul de date pentru cadrul unei interfeţe de două canale standard.

Subcadrul este constituit, aşa cum se observă din figura 9.1, din 4 biţi de sincronizare, 4 biţi auxiliari (pot fi utilizaţi pentru transmiterea unei rezoluţii suplimentare), 20 eşantioane ale semnalului audio, bitul de validare V, bitul utilizatorului U, bitul referitor la statutul canalului C şi bitul de paritate P. Semnalul audio este transmis începând cu cel mai puţin semnificativ bit, ceea ce înseamnă că poziţia bitului cel mai semnificativ, indiferent de rezoluţie, rămâne neschimbată.

În cadrul informaţiei audio sunt introduse două semnale de sincronizare. Primul dintre ele se constituie într-o simplă codare cu alternarea fazei, codarea Manchester

Scanned with OKEN Scanner

(figura 9.2) în care se introduce o tranziție la separarea dintre biți, iar cel de-al doilea prin introducerea unei tranziții la mijlocul fiecărui bit de nivel 1 logic. O astfel de schemă elimină componenta continuă a semnalului, permițând utilizarea transformatoarelor de cuplaj. Aceasta constituie practic o codare de canal fiind aceeași cu cea utilizată pentru codul SMPTE/EBU utilizat la sincronizarea diferitelor surse.

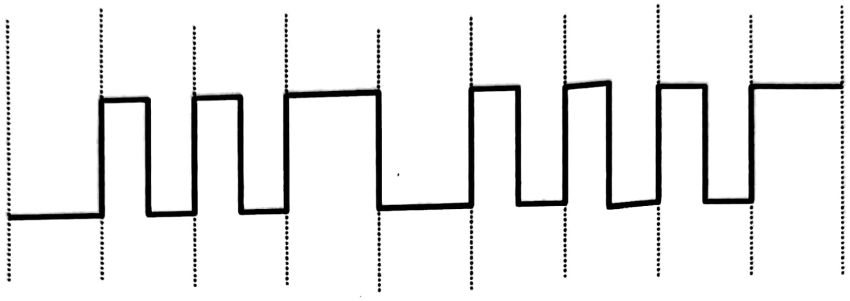


Figura 9.2. Codul Manchester.

Pentru a obține informații exacte privind sincronizarea la decodare, în zona biților de sincronizare se introduc patru biți ce nu respectă schema de codare. Acești biți sunt cunoscuți sub denumirea de biți de început X, Y, Z pentru standardul AES3 sau M, W, B pentru standardul IEC 958. Așa cum se observă și din figura 9.3, grupările X, Y ajută la identificarea celor două canale existente, în timp ce gruparea Z este introdusă în locul grupării X pentru a se evidenția începutul unui nou grup de stare al canalului (figura 9.4).

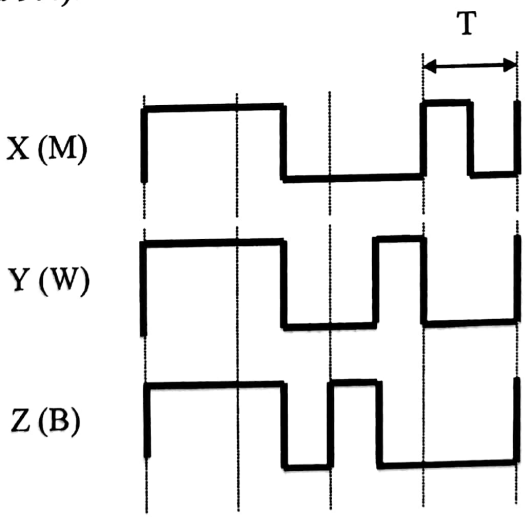


Figura 9.3. Forma semnalului pentru biții de sincronizare X, Y, Z.

Bitul de paritate este ales astfel încât numărul biților de 1 din subcadru să fie par. Astfel acest bit poate fi utilizat pentru detecția erorilor, dar nu și pentru corecția lor.

Scanned with OKEN Scanner

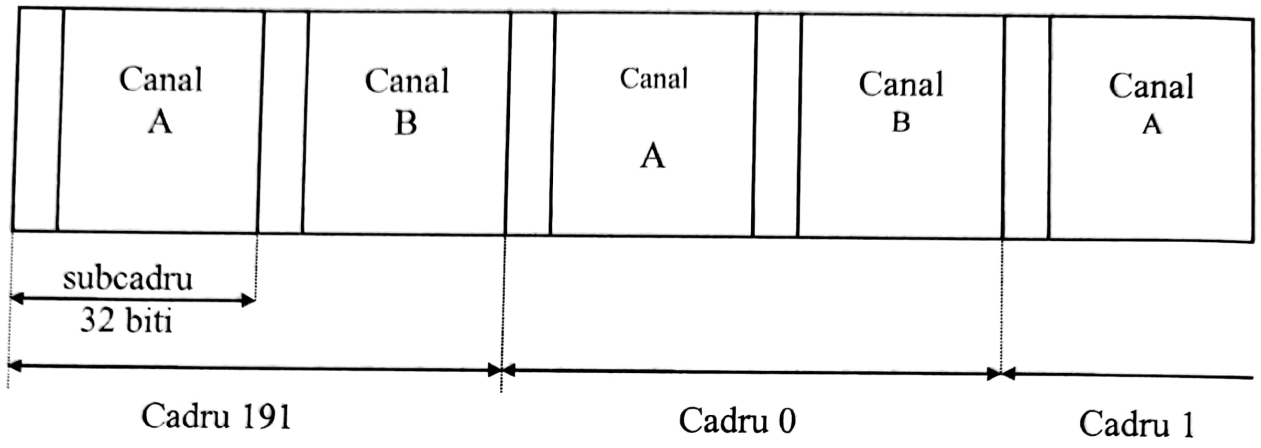


Figura 9.4. Structura datelor numerice pentru interfața cu două canale.

9.2.2. REZOLUȚIA SEMNALULUI

În mod normal, rezoluția datelor este de 20 biți, care reprezintă numărul biților de date din cadrul fiecărui subcadru, dar aceasta poate fi extinsă la 24 biți prin utilizarea biților auxiliari pentru transmisia celor mai puțin semnificativi biți. Noile standarde prevăd ca în codul ce conține statutul canalului să se specifice şi numărul de biți ce se utilizează pentru transmisia datelor, astfel încât să se poată realiza o decodare corespunzătoare a datelor la recepție. Formatele pentru dispozitivele de uz general trebuie, de asemenea, să specifice lungimea cuvântului de cod pentru fiecare eşantion, care este fixă. În formatul CD se utilizează întotdeauna un cuvânt având o lungime de 16 biți.

9.3. LINII DE CONECTARE

Pentru interfața numerică standard de două canale există două tipuri principale de transmisie, şi anume: simetrică care utilizează niveluri de semnal ridicat iar cealaltă este nesimetrică şi utilizează nivele de tensiune scăzute. Mai există posibilitatea utilizării unei legaturi pe cablu coaxial (transmisie nesimetrică) pentru distanțe scurte (până la 100 m). Toate standardele, care se referă la utilizarea profesională sau în difuziune a interfețelor, specifică utilizarea legăturilor simetrice în conformitate cu recomandarea V. 11 a CCITT [1].

Scanned with OKEN Scanner

9.3.1. INTERFEȚE ELECTRICE SIMETRICE (ECHILIBRATE)

Față de interfața CCITT, AES3-92 propune o nouă interfață ai cărei parametri sunt superiori. Interfața este prezentată în figura 9.5. După cum se observă, interfața utilizează transformatoare, care, deşi nu sunt specifice tuturor standardelor, asigură o izolare electrică între diferitele dispozitive şi reduc problemele de interferență magnetică ce pot apare în instalații.

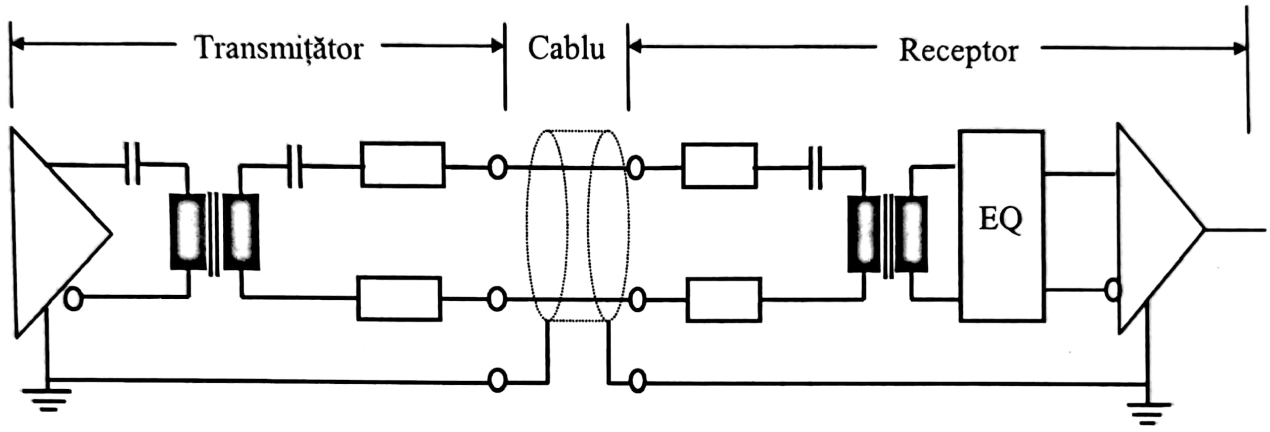


Figura 9.5. Circuitul electric recomandat pentru interfața digitală de două canale.

Nivelurile de tensiune ce sunt transmise sunt de 3 până la 10 V pe o sarcină de 110 Ω. Standardul AES3-92 prevede ca nivelurile de tensiune să fie între 2 şi 7 V.

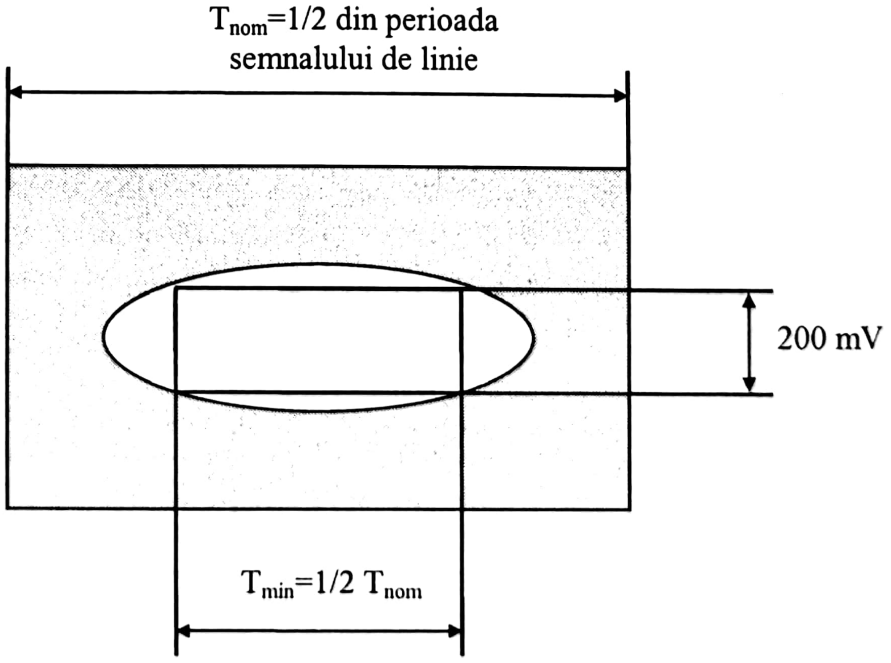


Figura 9.6. Diagrama ochiului cu caracteristicile minime acceptabile.

Scanned with OKEN Scanner

Întrucât este vorba de transmisia unor semnale digitale, pentru eventualele abateri se utilizează diagrama ochiului. Astfel, obținerea unui semnal corect implică o diagramă a ochiului ale cărui caracteristici să se încadreze în parametrii prezentați în figura 9.6. Diagrama ochiului sugerează toleranța posibilă în amplitudinea semnalului, precum și eroarea de jitter permisă. În aceste condiții, linia echilibrată poate fi utilizată fără corecții (egalizare) pe o distanță de până la 100 m.

9.3.2. INTERFEȚE ELECTRICE ASIMETRICE (NEECHILIBRATE)

Utilizarea legăturilor asimetrice nu este caracteristică standardelor profesionale. Aceasta este de fapt legătura realizată prin utilizarea cablului coaxial cu impedanța de 75 Ω. Conexiunea electrică nesimetrică este specificată în standardul IEC-958 ca fiind transmisia pe două fire, structura acesteia fiind prezentată în figura 9.7.

Pentru acest tip de conexiune nu se specifică distanța până la care este de așteptat ca rezultatele obținute să fie bune, dar avantajul unei astfel de conexiuni este faptul că amplitudinea semnalului poate fi de 0,5 V vârf la vârf. Astfel, amplitudinea semnalului transmis pe linie este mult mai mică decât cea a semnalului necesar în cazul transmisiei pe liniile simetrice.

Transmisia pe linii asimetrice este prevăzută și în cazul sistemelor profesionale pentru transmisii în jurul a 1000 m, nivelurile utilizate fiind asemănătoare cu cele ale semnalului video. Avantajul principal al unei astfel de conexiuni a interfeței ar putea fi distribuția ușoară a semnalului într-un studio de televiziune prin utilizarea cablurilor și amplificatoarelor pentru distribuția video.

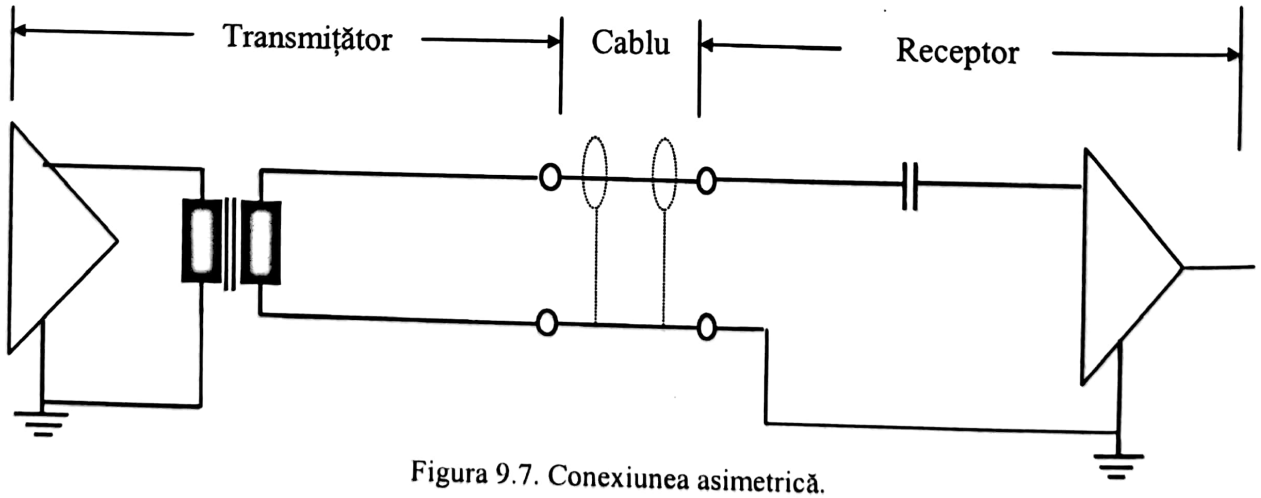


Figura 9.7. Conexiunea asimetrică.

Testele efectuate au arătat că legăturile asimetrice pe cabluri coaxiale pentru semnal numeric în format AES permit transmiterea semnalului pe distanțe de până la 1000 km, fără degradarea semnificativă a semnalului numeric.

Scanned with OKEN Scanner

9.3.3. INTERFEȚE OPTICE

Interfețele optice au fost introduse ca alternativă a standardului IEC 958, dar nu s-au generalizat. Aceste tipuri de conexiuni se găsesc în echipamentele destinate amatorilor, cum ar fi DAT, CD, convertoare şi amplificatoare cu intrări ce conțin convertoare numeric-analogice. În acest caz este utilizată o diodă cu emisie de lumină (LED) la emisie, cablul optic de transmisie fiind conectat la un fotodetector. De obicei, nivelele de tensiune întrebuințate sunt cele TTL (0-5 V).

Avantajele acestui tip de conexiune sunt legate de eliminarea interferențelor şi de pierderile extrem de reduse.

9.3.4. CONECTAREA PE MAI MULTE CANALE

Apariția sistemelor multicanal a condus la standardizarea posibilității de transmisie pe mai multe canale. O astfel de conectare permite interfațarea simultană a mai multor canale şi ar putea fi o soluție mai ieftină decât interfața pentru mai multe canale MADI.

9.4. DATE SUPLIMENTARE ALE INTERFEȚEI STANDARD DE DOUĂ CANALE

9.4.1. DATELE AUXILIARE

Aşa după cum am precizat, cei patru biți auxiliari ai fiecărui cadru pot fi folosiți pentru creşterea rezoluției audio până la 24 biți pe eşantion, prin utilizarea acestora ca cei mai puțin semnificativi biți. De asemenea, cei patru biți suplimentari pot fi întrebuințați pentru îmbunătățirea performanțelor canalului audio.

Întrucât în marea majoritate a echipamentelor cei patru biți sunt nefolosiți, s-a propus ca aceştia să fie utilizați pentru transmiterea unei voci de calitate bună ce poate fi folosită în difuziune.

În cazul unui studio de radio normal se transmite programul stereo împreună cu un alt canal ce conține un semnal vocal în scopul coordonării, iar de la destinație se transmite un semnal referitor la program (de obicei mono), precum şi un canal de coordonare ce poate conține şi date suplimentare (figura 9.8). În cazul unui studio numeric este posibilă utilizarea interfeței standard de două canale pentru transmiterea tuturor informațiilor. Astfel, pentru canalul de coordonare se foloseşte o frecvență de trei ori mai mică decât frecvența pentru programul principal, adică 16 kHz, iar pentru fiecare eşantion sunt alocați numai 12 biți. Pentru acest flux de date, la o frecvență de

Scanned with OKEN Scanner

eşantionare de 48 kHz, banda de frecvenţă ce poate fi alocată canalului suplimentar este de 7 kHz.

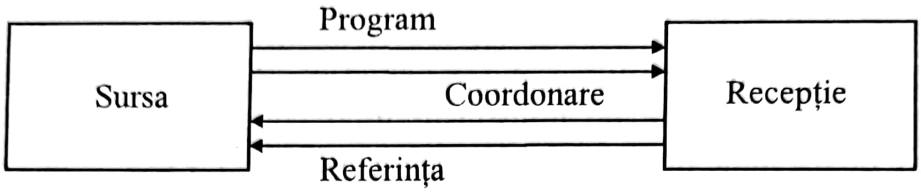


Figura 9.8. Legăturile principale în cazul difuziunii radio analogice.

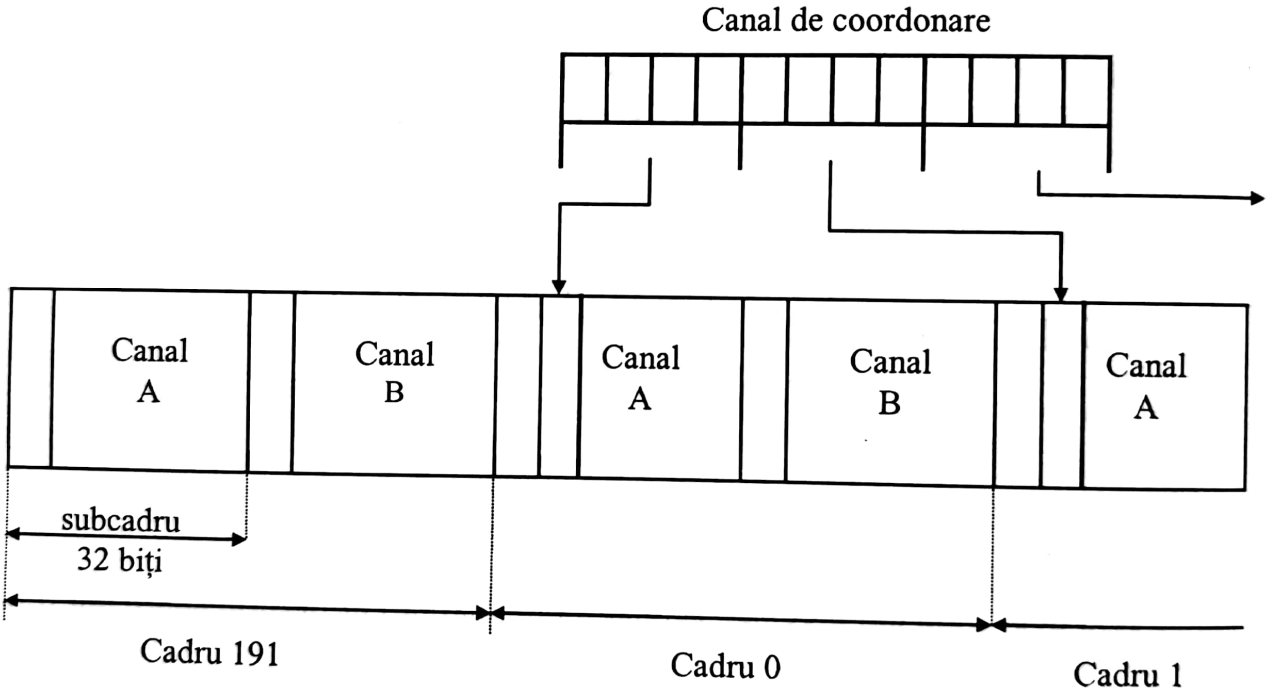


Figura 9.9. Transmiterea semnalului de coordonare.

Pentru cei 12 biţi ai semnalului de coordonare există spaţiu suficient în cadrul celor două canale A şi B. Astfel, sunt incluşi 4 biţi ai semnalului în zona biţilor suplimentari imediat după apariţia cuvântului Z pe canalul A, precum şi în canalul B. Aceasta se întâmplă pentru primele trei cadre, timp în care sunt transmişi toţi cei 12 biţi ai semnalului. Date suplimentare pot fi transmise şi pe canalul bitului utilizator. Figura 9.9 prezintă modul de creare a cuvintelor în cazul transmisiei canalului de coordonare.

Scanned with OKEN Scanner

9.4.2. BITUL DE VALIDARE (V)

Valoarea, precum şi utilizarea bitului de validare au fost obiectul discuțiilor pe durata formulării standardelor. Inițial acest bit a fost folosit pentru a identifica dacă eşantionul recepționat conține sau nu erori. O altă utilizare a fost în cazul echipamentelor de redare interactive CD-I în care bitul de validare indică dacă blocul de date recepționat conține sau nu informație audio. În acest caz există posibilitatea întârzierii cu un bloc (192 cadre), pentru a recepționa întreaga informație fără afectarea sunetului.

Practic, în standardul AES3-1992 bitul de validare indică dacă informația audio conținută în subcadru este sau nu este corespunzătoare (conține sau nu erori) conversiei în semnal analog.

9.4.3. CANALUL UTILIZATOR (U)

Biții canalului utilizator au o multitudine de utilizări, multe dintre ele fiind invizibile pentru echipamentele de uz general, cum ar fi: text, subcoduri, date neaudio. Acest canal poate fi utilizat şi pentru inserția datelor prin metoda Philips de transmisie interactivă a textului. În cele ce urmează vor fi prezentate câteva dintre aplicațiile canalului utilizator.

a. PACHETUL HDCL

Spre deosebire de informația de stare a canalului, datele transmise pe canalul U pot conține o mare varietate de mesaje. Din acest motiv s-a decis ca folosirea acestui canal să fie la îndemâna fiecărui utilizator, astfel ca întreaga capacitate a canalului să poată fi distribuită fiecărei aplicații, utilizarea biților realizându-se prin multiplexarea în pachete de biți. HDCL (High level Data Link Control), standardizare pentru transmiterea informațiilor în rețele de calculatoare, reprezintă un pas intermediar spre stabilirea unui standard pentru utilizarea canalului U în domeniul profesional.

Standardul adoptat este AES18-92, având ca principală caracteristică păstrarea relativ constantă a fluxului de date în domeniul 42-54 kHz, ceea ce constituie un avantaj deoarece există o relație bine precizată între date şi informațiile audio. Aceasta permite transmiterea informației referitoare la timp (care este critică), într-un interval bine precizat şi utilizarea simultană a informațiilor de către mai mulți utilizatori.

Datele sunt transmise în pachete care sunt precedate de o etichetă ce conține informația privind adresa de destinație. Pachetele astfel obținute sunt apoi inserate în fluxul de date. Pentru a se păstra debitul de informație aproximativ constant (42 kHz), la sfârşitul fiecărui bloc se adaugă un pachet de biți ce pot fi eliminați dacă frecvența de eşantionare este mai scăzută.

În unele aplicații poate fi necesară o lungime a blocurilor variabilă. De asemenea, pentru a permite inserția de mesaje de importanță variabilă în diferite

Scanned with OKEN Scanner

puncte ale sistemului, în standard sunt prevăzute reguli de prioritizare a mesajelor. Astfel, pentru un mesaj prioritar (nivelul 3) există posibilitatea înserării acestuia în fiecare bloc, în timp ce pentru cel mai slab nivel de prioritate (nivelul 0) mesajul este inclus o singură dată pentru mai multe blocuri. În tabelul 9.1 sunt precizate duratele şi frecvenţele de repetiţie ale blocurilor canalului utilizator pentru diferite aplicaţii.

Frecvenţele de repetiţie a blocurilor pentru diferite aplicaţii

Tabelul 9.1.

Frecvenţa blocurilor	Durata [ms]	Aplicaţia
24	41,67	Film
25	40	PAL, SECAM, sisteme video cu frecvenţa de 50 cadre/s
29,97	33,37	NTSC video
30	33,33	HDTV cu 50 cadre/s
33,33	30	DAT

b. SISTEMUL CD

Echipamentele de redare CD, care au ieşire numerică, plasează date ale subcodului în canal utilizator. La aceste sisteme există un bloc al subcodului care conţine toate datele. Informaţia este organizată pe mai multe subcoduri Q, R, S, T, U, V, W multiplexate între ele, fiind tratată ca un singur canal, fără a exista separaţie pentru cele două subcadre (stânga, dreapta) [27].

c. SISTEMUL DAT

Ca şi în cazul sistemului CD, biţii canalului utilizator nu sunt separaţi pentru cele două canale (stânga, dreapta) formând un singur canal. În sistemul DAT informaţia trimisă pe canalul utilizator indică prezenţa sau absenţa informaţiilor referitoare la start sau salt. În cazul sistemului DAT numărul de biţi corespunzători cadrului depinde de frecvenţa de eşantionare şi dictează distanţa dintre biţii de informaţie transmişi.

d. SISTEMUL DCC

În cazul sistemului DCC există două modalităţi de transmitere a datelor:

- cu marcare - care este obligatoriu,
- extins - care este opţional.

Datele transferate în canalul utilizator sunt mesaje formate în unitatea de informaţie având o lungime de 1 octet. În cazul modului de funcţionare cu marcare se transmite un singur octet, a cărui structură este prezentată în figura 9.10, iar în cazul

Scanned with OKEN Scanner

modului extins se trimit mai mulți octeți, numărul acestora fiind precizat în cadrul primului octet transmis (figura 9.11).

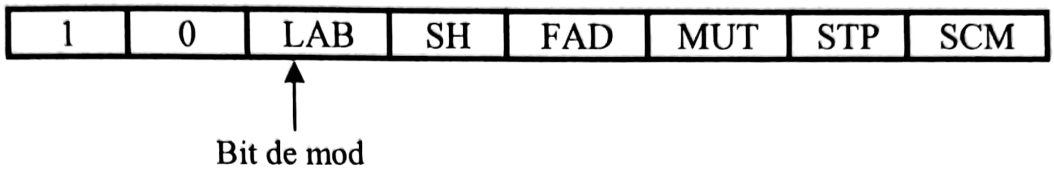


Figura 9.10. Structura octetului pentru modul cu marcare.

Semnificația biților este următoarea:

- LAB – indică prezența unui indicator de START,
- SH – indică prezența unui indicator de salt,
- FAD – programarea pentru scăderea lentă a volumului,
- MUT – indică începerea unei zone fără sunet sau a scăderii volumului,
- STP – stop sau indică că semnalul audio nu este disponibil,
- SCM – indică prezența unui sector marcat.

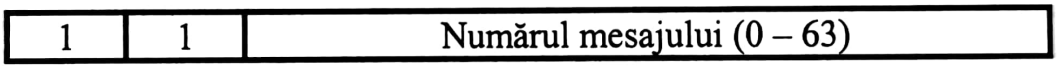


Figura 9.11. Structura octetului pentru modul extins.

e. SISTEMUL MINIDISC

În cazul acestui sistem canalul utilizator are o structură asemănătoare sistemului CD.

9.4.4. INFORMAȚIILE DE STARE ALE CANALULUI (C)

Datele referitoare la starea canalului sunt, din punct de vedere al compatibilității între diferitele echipamente, cele mai importante şi conduc la incompatibilități între diferitele sisteme.

a. FORMATUL CANALULUI DE STARE

În fiecare subcadru există un singur bit de stare. Formarea cuvântului referitor la semnalul ce se transmite se face prin cumularea biților din cele 192 subcadre. Acest cuvânt este divizat în 24 octeți, fiecare având o funcție ce depinde de aplicație.

Având în vedere frecvența de eşantionare a semnalului audio, rezultă că reactualizarea informației referitoare la canal se face la fiecare 4 ms (48 kHz).

Scanned with OKEN Scanner

Întrucât există o similitudine între formatele de date profesionale şi cele de larg consum, pot apărea atât avantaje cât şi dezavantaje. Avantajul îl reprezintă faptul că există posibilitatea transferului de informaţie între cele două formate, cu dezavantajul că utilizarea informaţiei este diferită.

În figura 9.12 sunt prezentate comparativ începuturile blocurilor informaţiei referitoare la starea canalului pentru sistemul profesional şi pentru cel de uz general.

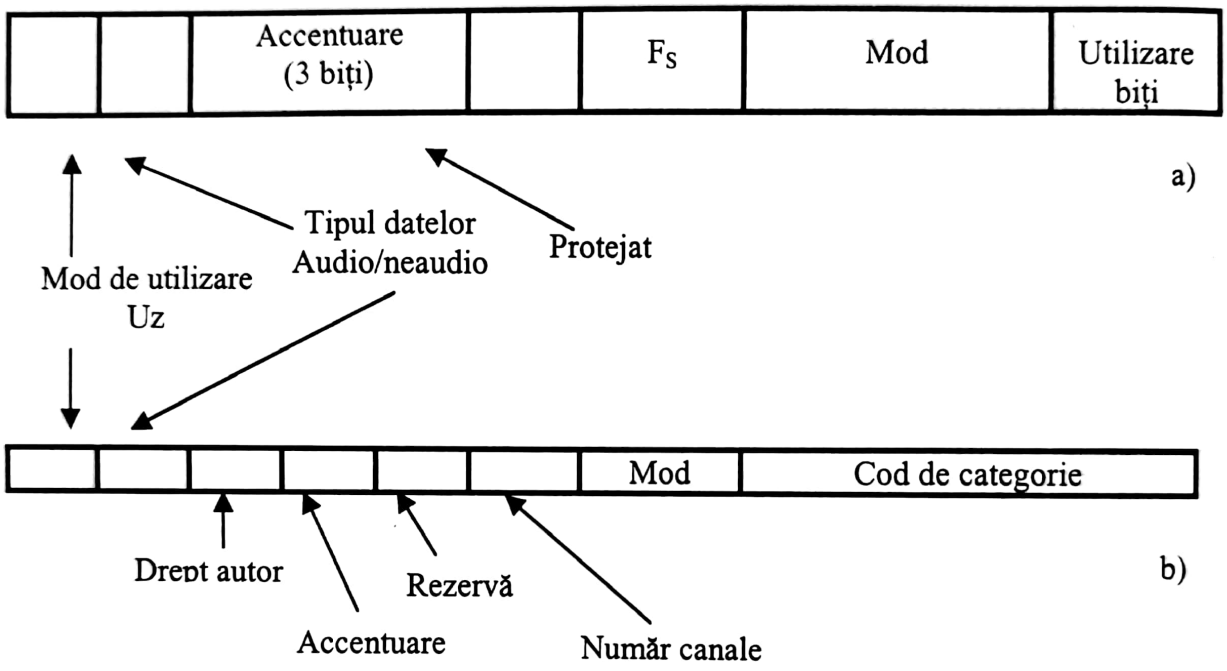


Figura 9.12. Comparaţie între profesionale: a) şi cele de uz general; b) referitoare la informaţia de stare a canalului.

b. FORMATUL INFORMAŢIEI DE STARE A CANALULUI ÎN SISTEMELE PROFESIONALE

Cei 24 de octeţi ai informaţiei referitoare la starea canalului pentru sistemele profesionale sunt prezentaţi în figura 9.13, iar figura 9.14 – 9.16 prezintă detailat structura primilor 3 octeţi.

Primii doi octeţi conţin informaţii despre natura sursei: frecvenţa de eşantionare, preaccentuarea utilizată, modul de operare (mono, stereo), precum şi modul de utilizarea a canalului U.

Scanned with OKEN Scanner

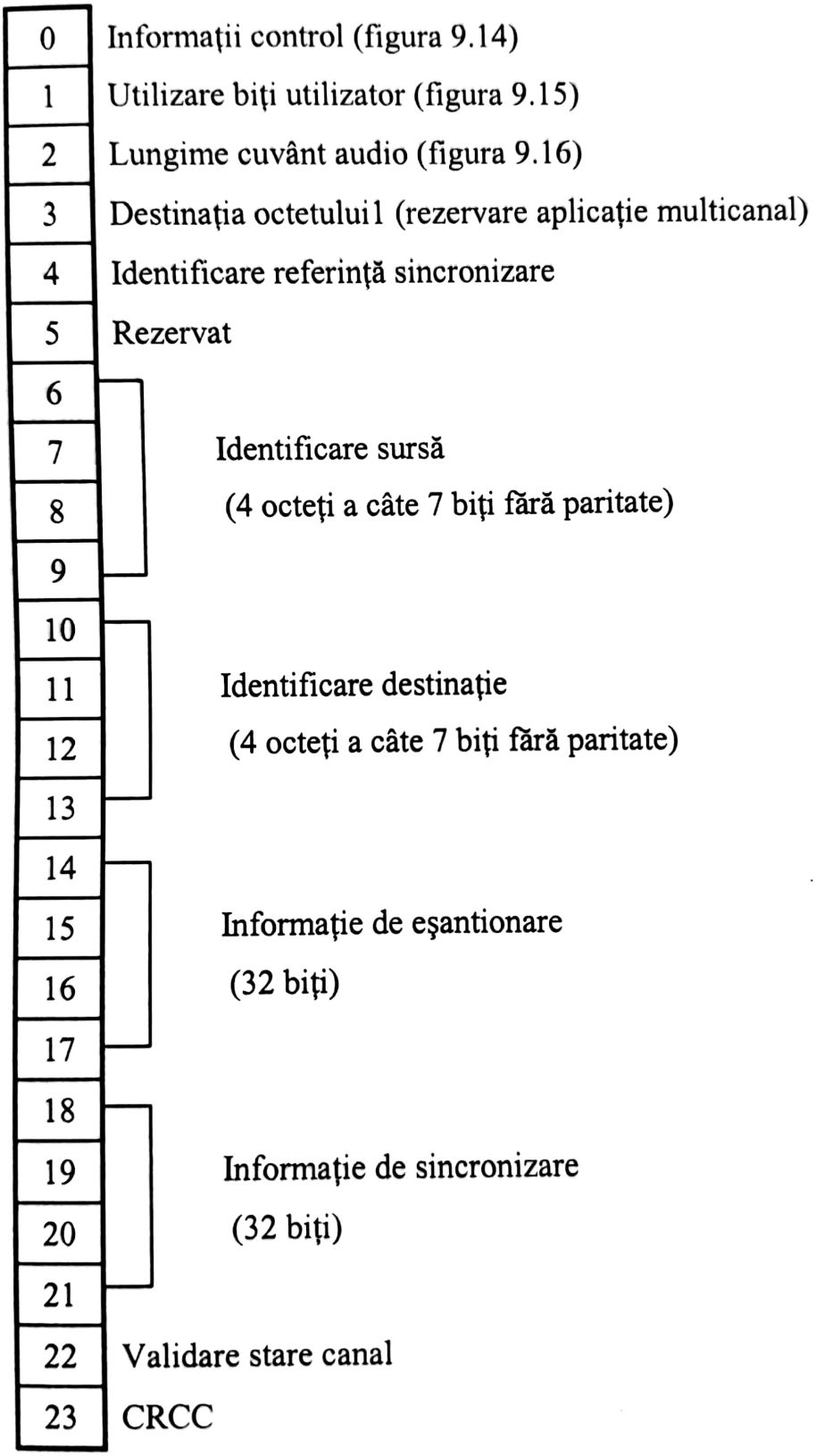


Figura 9.13. Structura informației referitoare la starea canalului în formatul profesional.

Scanned with OKEN Scanner

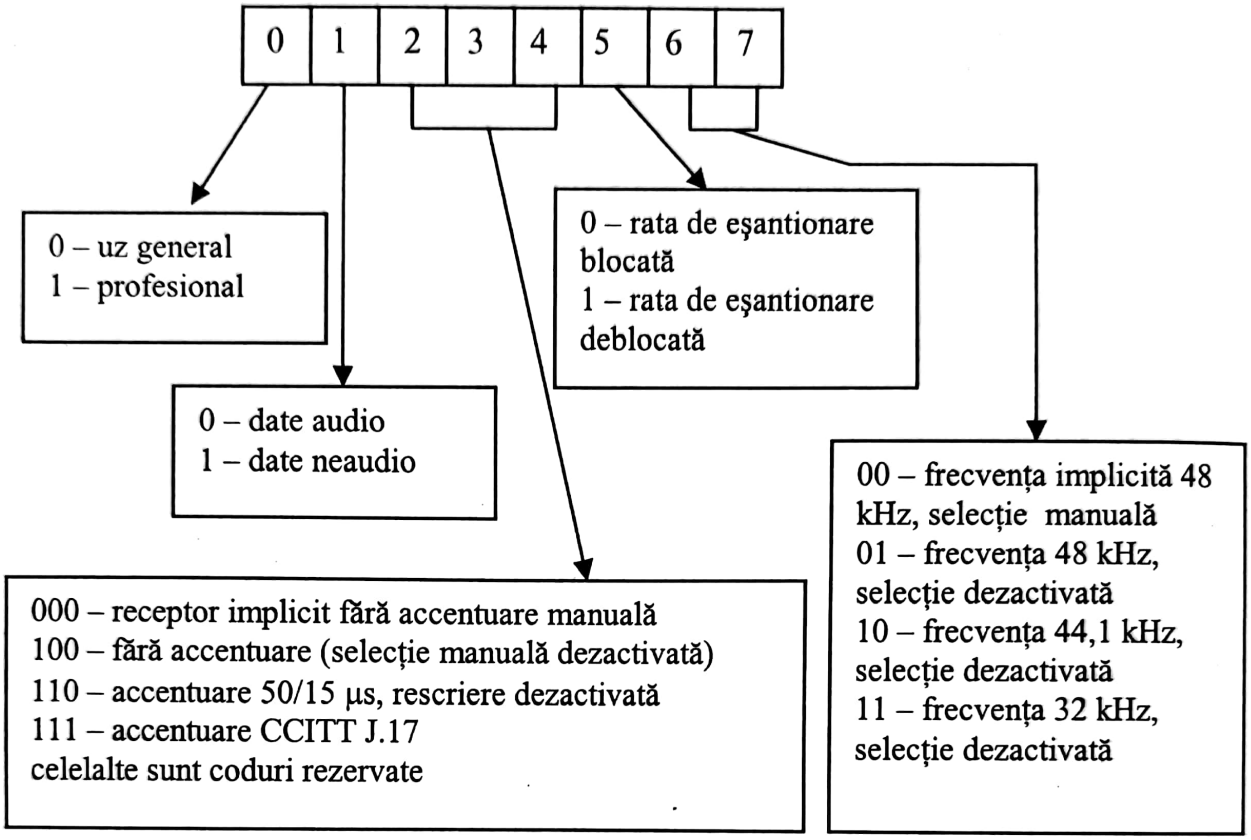


Figura 9.14. Informaţiile de control.

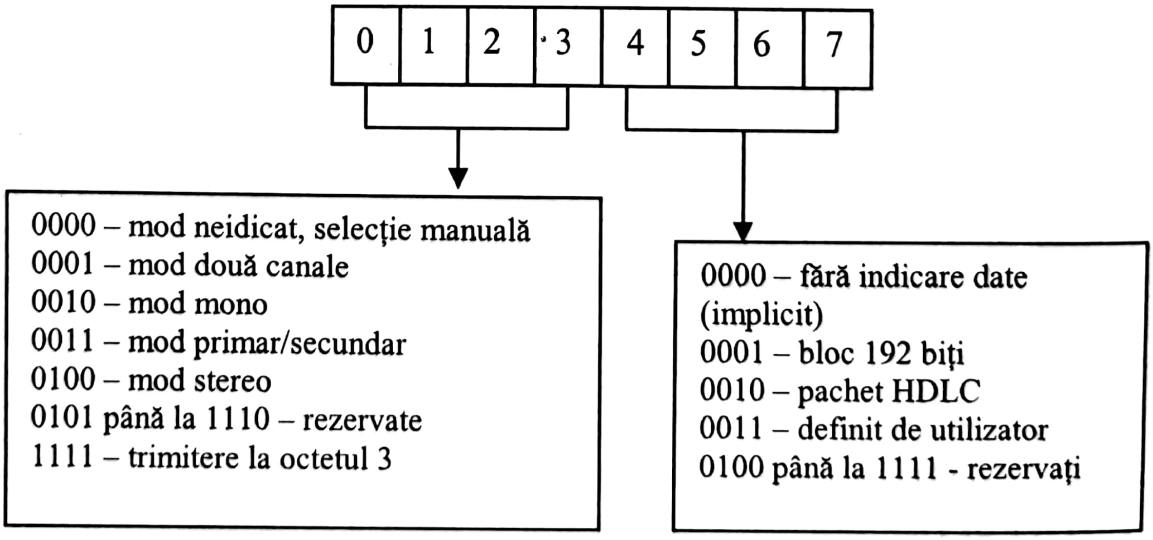


Figura 9.15. Informaţiile utilizator.

Scanned with OKEN Scanner

Cel de-al treilea octet devine important în cazul în care rezoluția semnalului este mai mare de 16 biți, permițând realizarea adaptării între echipamentele cu rezoluția de 16 sau 20 biți.

Având în vedere complexitatea informațiilor, prin standard s-au prevăzut trei niveluri de implementare a transmiterii informației de stare:

- nivelul minim, în care toți biții sunt setați pe zero cu excepția primului bit care indică faptul că avem o aplicație profesională
- nivelul standard, în care se setează primii trei octeți și ultimul
- nivelul îmbunătățit, care conține informațiile nivelului standard și eventualele informații auxiliare, cum ar fi identificarea sursei, adrese suplimentare etc.

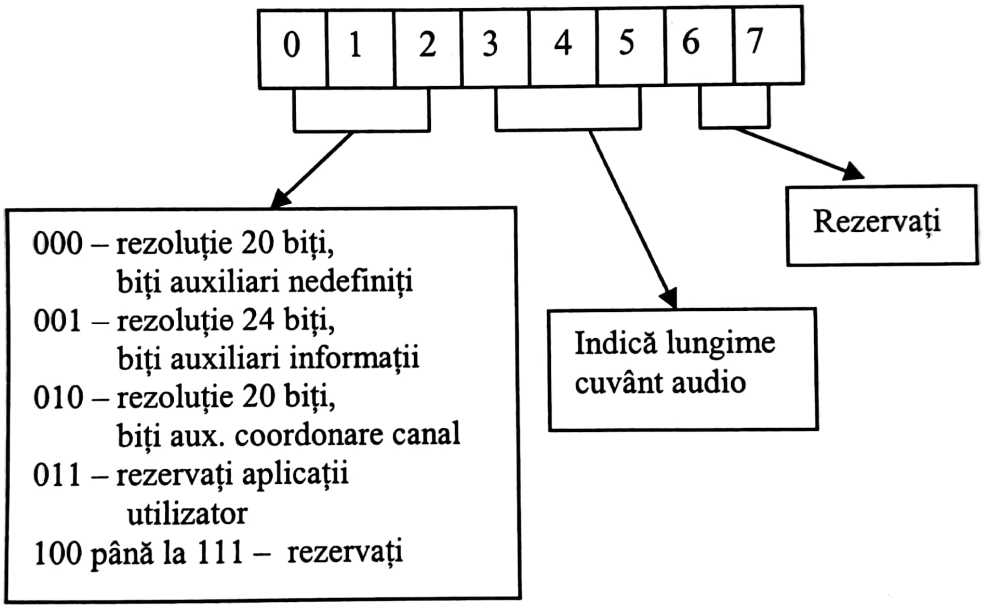


Figura 9.16. Informațiile referitoare la informația audio.

c. FORMATUL INFORMAȚIEI DE STARE A CANALULUI ÎN SISTEMELE DE UZ GENERAL

În cazul aplicațiilor de uz general, structura informațiilor canalului de stare este mai complexă întrucât există mai multe sisteme, fiecare având o varietate de date ce pot fi transmise. În figura 9.17 este prezentată structura principială a datelor canalului de stare pentru aplicațiile de uz general.

Spre deosebire de aplicația profesională, în aplicațiile de uz general, biții 7 și 8 ai primului octet definesc modul de utilizare a blocului de stare.

Cel de-al doilea octet al informației de stare a canalului cuprinde date referitoare la identificarea sursei. Inițial, codurile definite în standardul IEC 958 se refereau la sistemele prezentate în tabelul 9.2, fiind reactualizat cu cele prezentate în tabelul 9.3.

Scanned with OKEN Scanner

Întrucât s-a dorit limitarea numărului de copii digitale, mai ales după apariția sistemelor DAT, bitul 15 se utilizează pentru protecția la copiere, fiind notat cu „L".

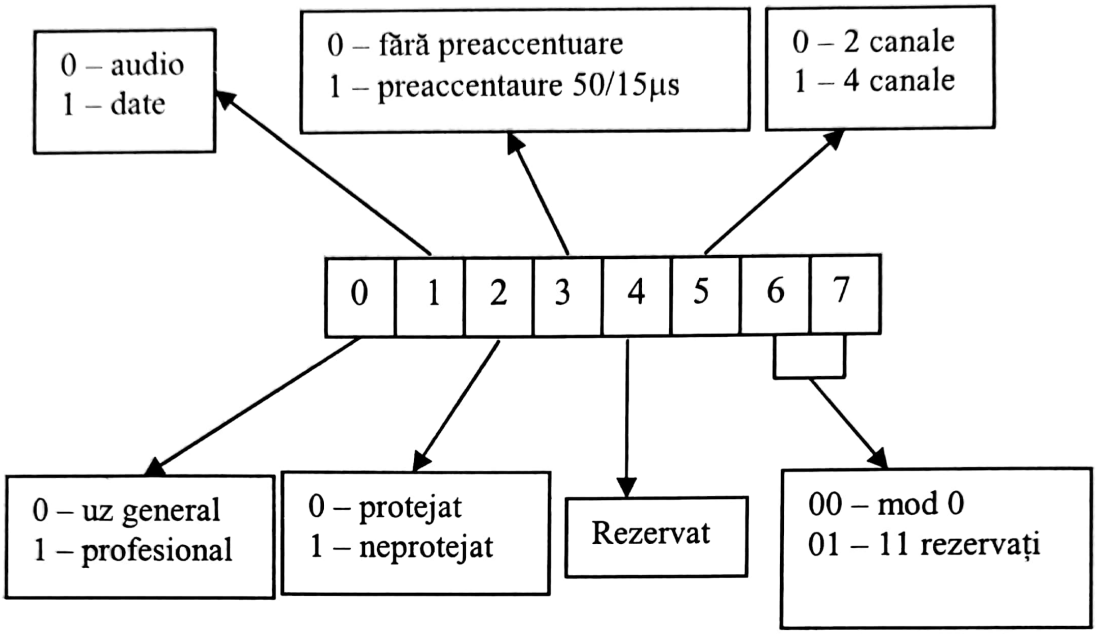


Figura 9.17. Formatul octetului canalului de stare în formatul de uz general.

Familiile de coduri inițiale ale standardului IEC 958

Tabelul 9.2

Echipament	Cod (octetul al doilea)
General	00000000
CD	10000000
Adaptor PCM	01000000
DAT	11000000

Familiile de coduri reactualizate

Tabelul 9.3

Echipament	Cod (octetul al doilea)
Echipamente cu LASER	100XXXXL
Procesoare de semnal	010XXXXL
Benzi magnetice sau discuri	110XXXXL
Difuziune audio numerică	001XXXXL și 0111XXXL
Instrumente muzicale, mixere, alte surse numerice	101XXXXL

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

d. PROTECȚIA LA COPIERE

Metoda de copiere dirijată, numită SCMS (Serial Copy Managemet System), este implementată în toate echipamentele de uz general. Principiul constă în faptul că un semnal de drept de autor preînregistrat permite înregistrarea unei singure copii a semnalului. Astfel, bitul C şi bitul L pot fi folosiţi pentru a realiza acest lucru.

În echipamentele DAT mai există doi biţi de protecţie la copiere ID6, care determină fixarea combinaţiei biţilor C şi L.

9.5. INTERFAȚA STANDARD MULTICANAL (MADI)

Această interfaţă a fost propusă pentru prima dată în Marea Britanie în 1988 de firmele Sony, Neve, Mitsubishi şi Solid State Logic, fiind numită MADI. Practic, cu ajutorul acestei interfeţe se realizează transferul a 56 canale, serial şi asincron. Deoarece în acest caz debitul de informaţie este mult mai mare, se utilizează pentru transfer cabluri coaxiale de 75 Ω cu lungimi de maximum 50 m sau cabluri optice, întrucât nu este permisă egalizarea la recepţie.

Structura datelor este prezentată în figura 9.18, fiind o structură similară cu cea a interfeţei standard de două canale. În cazul interfeţelor MADI se utilizează o codare 4/5 întrucât rata de transfer obţinută este de 96,768 Mb/s. Datorită ratei de transfer foarte mari, interfaţa MADI a fost proiectată ţinând cont de principalele circuite utilizate în reţelele de calculatoare de mare viteză.

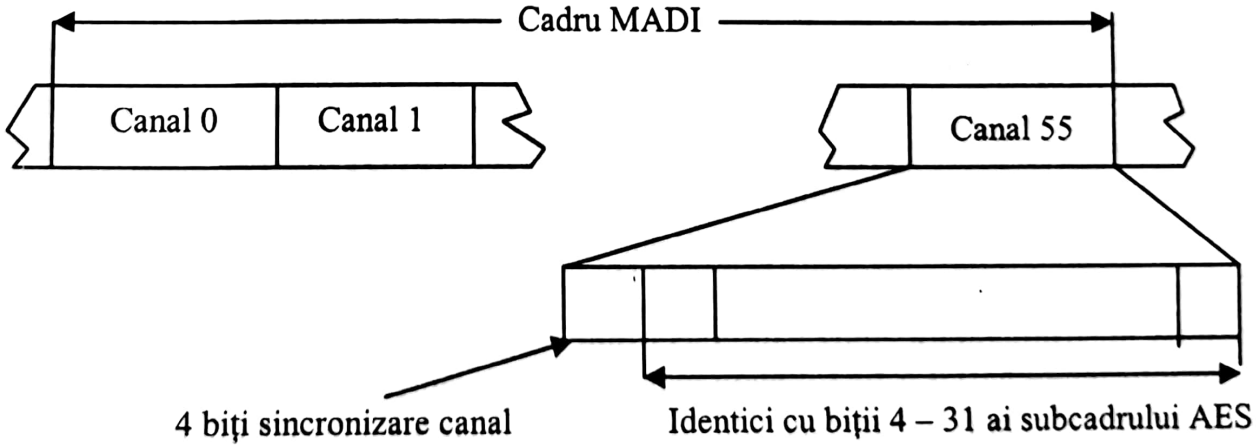


Figura 9.18. Structura datelor pentru interfaţa MADI.

Schema bloc a lanţului de transmisie pentru interfaţa MADI este prezentată în figura 9.19.

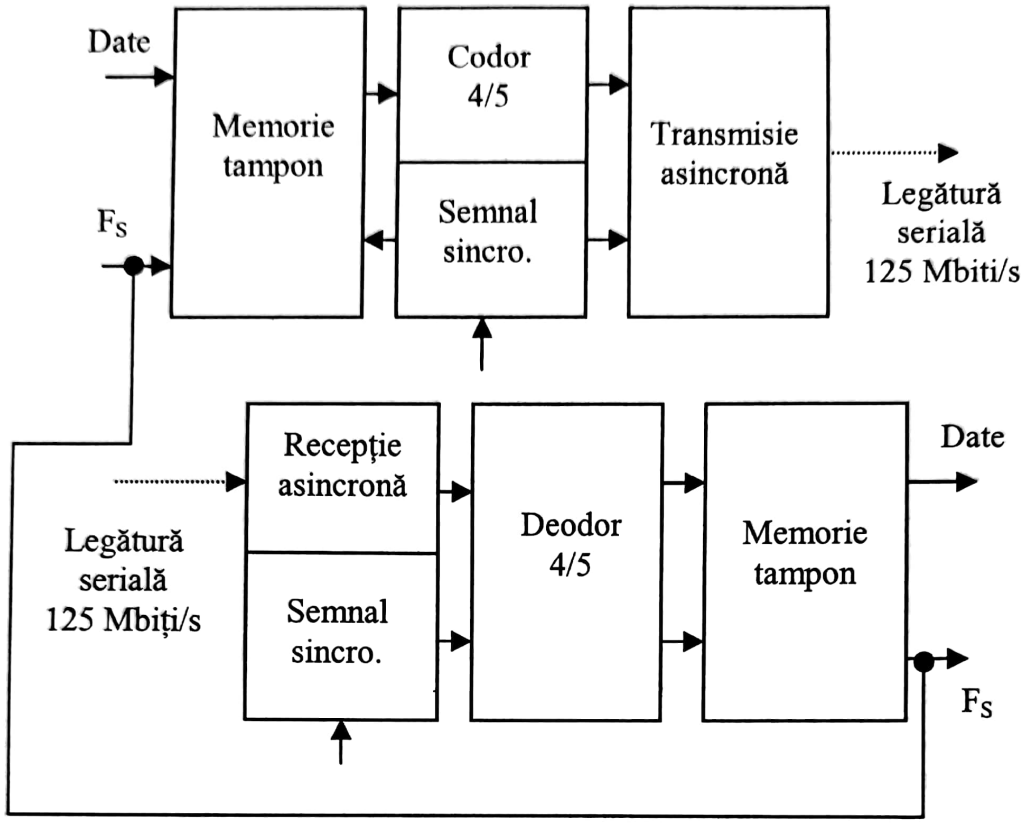


Figura 9.19. Schema bloc a lanțului de transmise MADI.

9.6. INTERFEȚELE MIDI

Cele mai cunoscute interfețe utilizate în tehnica sunetului sunt interfețele MIDI (Musical Instrument Digital Interfaces), care sunt interfețele seriale utilizate la comanda instrumentelor muzicale electronice [32]. Adoptarea transmisiei seriale pentru interfețele MIDI a fost dictată atât de considerentele practice, cât şi de cele de ordin economic. Datorită simplicității aceasta a ajuns repede un standard internațional, fiind utilizată în marea majoritate a cazurilor.

Spre deosebire de echipamentele audio numerice care conțin informația referitoare la sunet, echipamentele MIDI transmit numai informația numerică necesară controlului generării sunetului. În figura 9.20 sunt reprezentate comparativ înregistrările efectuate cu ajutorul unui echipament numeric şi al unui sistem MIDI.

Scanned with OKEN Scanner

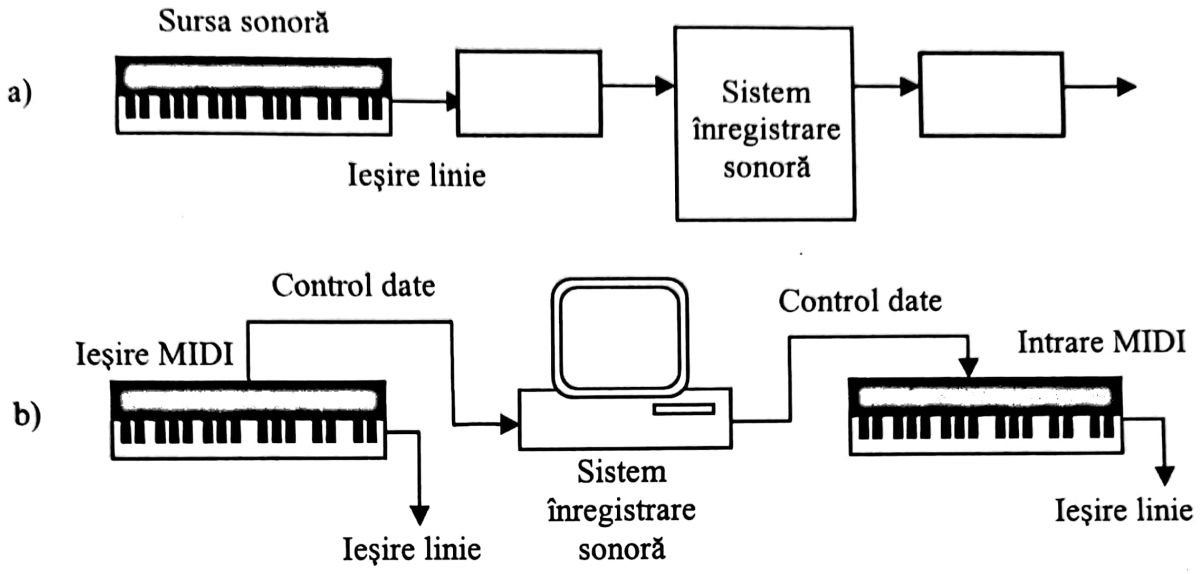


Figura 9.20. a) Înregistrarea audio numerică; b) Înregistrarea cu ajutorul MIDI.

9.6.1. PRINCIPIILE DE BAZĂ ALE INTERFEȚEI MIDI

Standardul MIDI specifică faptul că aceasta este o interfață asincronă serială ce lucrează pentru o frecvență a datelor de 31,25 kbiți/s. Această rată de transfer este suficient de redusă pentru a permite transportul datelor pe un cablu simplu şi cu necesitatea unui echipament cât mai simplu.

Transmisia asincronă a datelor presupune că aceste echipamente lucrează fără ca semnalul să fie însoțit de un semnal suplimentar de sincronizare, echipamentul ce transmite datele aşteptând ca receptorul să intercepteze datele ori de câte ori acestea sosesc. Datorită acestui fapt, legătura între cele două echipamente este foarte simplă.

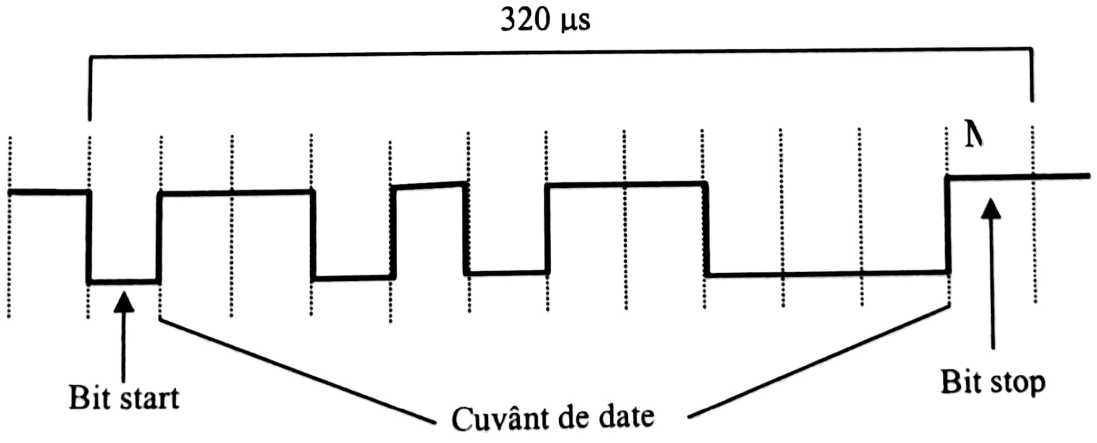


Figura 9.21. Cuvântul de date transmis între echipamente.

În acest tip de transmisie este necesar ca frecvența de tact a celor două echipamente să fie identică, pentru a elimina posibilitatea pierderii de date datorată erorilor de sincronizare. În sistemul MIDI toleranța frecvenței de tact este de 1%. Deoarece datele pot fi transmise în orice moment şi pot exista pauze lungi între mesaje, este necesar ca semnalul să conțină cuvinte de start şi de sfârşit (figura 9.21).

Cele mai multe dintre echipamentele ce folosesc interfețe MIDI au trei conectoare de intrare, şi anume: intrare, ieşire şi retransmisie (figura 9.22).

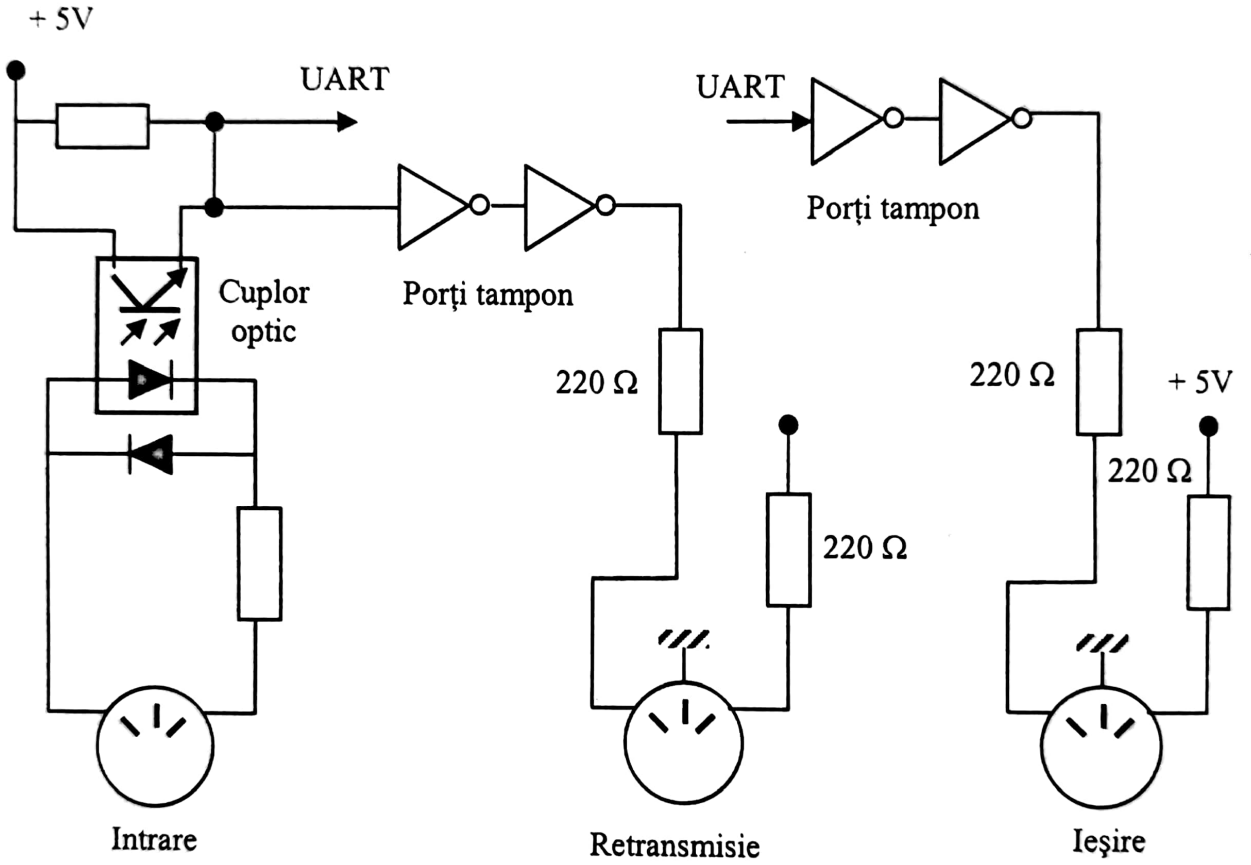


Figura 9.22. Interfața de conexiuni a echipamentelor MIDI.

Conectorul de intrare realizează recepția semnalului de la alte echipamente transmițându-l către receptorul/transmițătorul universal asincron UART (Universal Asychronous Receiver/Transmitter). Datele transmise sunt recepționate cu condiția ca echipamentul să fie capabil de aceasta şi datele să-i fie destinate.

Conectorul de retransmisie reprezintă o punte care nu face altceva decât să realizeze o replică a semnalului prezent la intrare. El nu reprezintă decât un tampon pentru datele de intrare. Această facilitate nu este prezentă la toate echipamentele, dar există posibilitatea utilizării unui element auxiliar, care poate pune la dispoziție un anumit număr de porți de retransmisie pentru o singură intrare, sau există posibilitatea comutării conectorului de ieşire într-unul de retransmisie.

Scanned with OKEN Scanner

Conectorul de ieşire are rolul de a transporta semnalele generate de echipament, cum ar fi: tastă acționată, semnale de control etc., semnale ce sunt preluate de la UART.

Utilizarea cuplajului optic la intrare realizează conectarea echipamentelor fără cuplaj direct, asigurând astfel protecția sistemului.

Prezența celor trei tipuri de conectoare permite realizarea simplă a unui sistem de echipamente ca în figura 9.23.

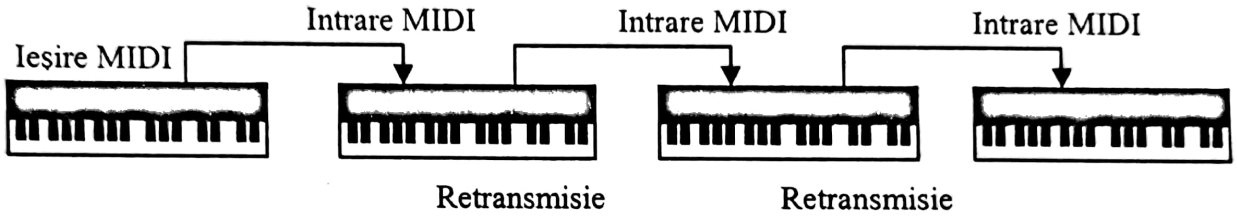


Figura 9.23. Sistem de echipamente cu interfețe MIDI.

9.6.2. SISTEMUL DE COMUNICAȚIE MIDI

Mesajele MIDI sunt realizate dintr-un număr de biți, fiecare parte a mesajului având un rol bine definit, una dintre secțiunile mesajului conținând definirea canalului de recepție la care se referă mesajul. Astfel, un dispozitiv de control poate defini echipamentul (instrumentul) care va reacționa la datele transmise.

Figura 9.24 prezintă formatul general al mesajului MIDI. Din figură se observă că există două tipuri principale de octeți ce se transmit, şi anume: de stare a canalului şi de date. Aşa după cum se observă, întrucât primul bit al fiecărui octet se referă la tipul bitului, rămân numai şapte biți utili pentru transmisia datelor.

1 s s s n n n n	0 x x x x x x x	0 y y y y y y y
Stare	Date 1	Date 2

Figura 9.24. Formatul general al datelor MIDI.

Primul octet al mesajului este un octet de stare şi conține informații pe patru biți referitoare la numărul canalului. Octetul de stare începe întotdeauna cu 1, ceea ce înseamnă că există numai opt tipuri de mesaje. În general, se utilizează sistemul hexazecimal ceea ce înseamnă că valorii binare 1111 îi corespunde valoarea &F. Tabelul 9.4 prezintă principalele tipuri de mesaje implicate în sistemele MIDI. Cu excepția mesajelor exclusive ale sistemului, care pot fi mai lungi, mesajele MIDI conțin unul, doi sau trei octeți. Litera „n" utilizată reprezintă numărul canalului.

Scanned with OKEN Scanner

Mesajele interfeței MIDI.

Tabelul 9.4.

Tipul mesajului	Statutul canalului	Date 1	Date 2
Notă dezactivată	&8n	Număr notă	Viteză
Notă activată	&9n	Număr notă	Viteză
Presiunea apăsare tastă în cazul sistemelor multitastă	&An	Număr notă	Presiune
Control parametri	&Bn	Identificare control	Valoare
Schimbare program	&Cn	Număr program	-
Presiune apăsare tastă	&Dn	Număr notă	Presiune
Durată mesaj	&En	Cel mai puțin semnificativ octet	Cel mai semnificativ octet
Mesaje exclusive ale sistemului			
Start	&F0	Identificare producător	Date, (Date), (Date)
Sfârşit	&F7	-	
Mesaje comune ale sistemului			
Cadru	&F1	Date	-
Trimitere cântec	&F2	Cel mai puțin semnificativ octet	Cel mai semnificativ octet
Selecție cântec	&F3	Număr	
Sfârşit cântec	&F6	-	
Timpi reali ai sistemului			
Semnal sincronizare	&F8		
START	&FA		
Continuă	&FB		
STOP	&FC		
Verificare activitate (activ în modul STOP)	&FE		
Anulare	&FF		

Cele mai multe dintre informațiile muzicale ale interfețelor MIDI au structura generală [&(8-9)n][Număr notă][Viteză]. Această structură corespunde transmiterii

Scanned with OKEN Scanner

către ieşire a canalului şi clapei corespunzătoare apăsate. Deoarece activării unei note îi corespunde şi dezactivarea ei, se poate întâmpla, în cazul pierderii legăturii între echipamente, ca o notă să fie repetată la infinit. În cazul instrumentelor MIDI există 128 de numere ce corespund notelor. În acest fel se acoperă întreaga gamă a celor 10 octave necesară reprezentației muzicale. Notele muzicale, precum şi numerele corespunzătoare acestora sunt prezentate în tabelul 9.5.

Numerele asociate în interfața MIDI cu notele muzicale

Tabelul 9.5.

Nota muzicala	**Numărul MIDI asociat**
C-2	0
C-1	12
C0	24
C1	36
C2	48
C3 (C central)	60 (Yamaha)
C4	72
C5	84
C6	96
C7	108
C8	120
G8	127

Pe lângă numărul notei, informația muzicală mai conține şi informația de viteză, reprezentând viteza cu care este apăsată sau eliberată clapa notei respective.

9.6.3. SINCRONIZAREA

Informația transmisă prin interfețele MIDI poate fi utilizată pentru sincronizarea echipamentelor dintr-un sistem şi depinde de capacitatea acestora de a recunoaşte sau nu informațiile referitoare la sincronizare. În cazul în care sunt conectate prin cabluri MIDI două sau mai multe instrumente care necesită sincronizare (percuții, sequencer), se poate utiliza informația de sincronizare pentru ca ele să funcționeze sincron. Astfel, unul dintre ele funcționează ca instrument principal, iar celălalt ca sclav.

În scopul funcționării sincrone a sistemului, interfața MIDI are un grup de mesaje de timp. Aceste mesaje sunt utilizate împreună cu cel de identificare a unui cântec, putându-se realiza în acest fel autolocalizarea. Codul de timp este utilizat în cadrul sincronizării sistemelor MIDI cu o referință de timp reală. Practic, se realizează

Scanned with OKEN Scanner

transferul codului de timp EBU în cadrul sistemului MIDI. Mesajele de sincronizare referitoare la codul de timp sunt de două tipuri: unul realizează reactualizarea regulată a receptorului cu timpul real, iar celălalt transmite o poziţie reactualizată a codului de timp pentru situaţia ce apare în timpul derulării cu viteză rapidă a unui echipament cu bandă.

Întrucât cadrul codului de timp reprezintă o informaţie prea mare pentru a fi transmisă într-un mesaj standard de trei octeţi, ea este divizată în patru mesaje separate ce sunt transmise prin intermediul interfeţei. Aceste mesaje sunt transmise pe durata unui cadru de timp de cod (pentru limitarea ratei de transmisie), ceea ce înseamnă că o valoare completă se transmite pe durata a două cadre. Din acest motiv, este necesar ca receptorul să păstreze un decalaj de două cadre între timpul afişat şi cel decodat, deoarece pentru a se transmite valoarea unui cadru sunt necesare două cadre.

Intern, rezoluţia de timp poate fi mărită faţă de cea a mesajului transmis. Fiecare mesaj din grupul de opt reprezintă o parte a valorii cadrului codului de timp, având forma &[F1][Date] (figura 9.25).

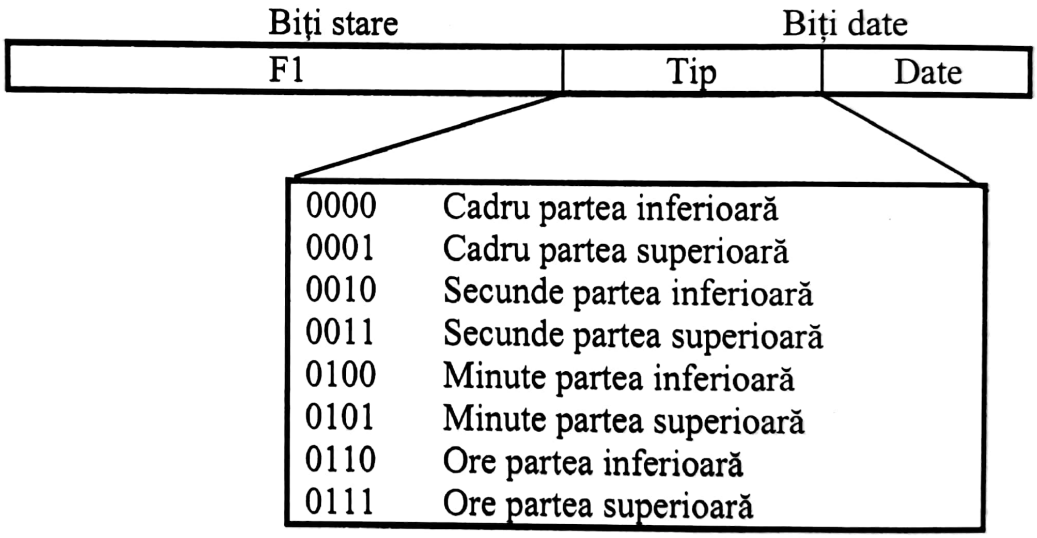


Figura 9.25. Forma codului de timp.

9.6.4. CONECTAREA SISTEMELOR MIDI LA CALCULATOR

a. INTERFAŢA CU O SINGURĂ INTRARE

O interfaţă MIDI cu o singură intrare poate fi conectată la unul din porturile de intrare/ieşire a calculatorului sau într-unul din conectoarele de pe placa de bază a calculatorului. De exemplu, pentru sistemele Macintosh, interfeţele MIDI pot fi conectate direct pe una din intrările seriale (figura 9.26). Conectarea mai multor

Scanned with OKEN Scanner

dispozitive receptoare este posibilă numai în condițiile utilizării unui distribuitor (figura 9.27).

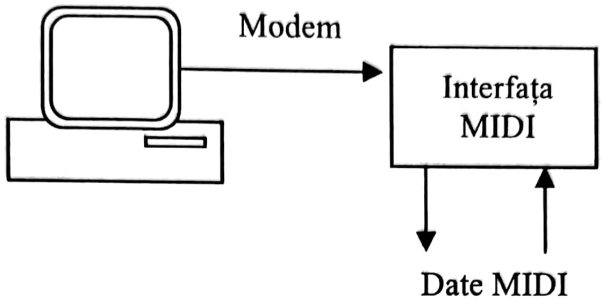


Figura 9.26. Conectarea unei interfețe MIDI la un calculator.

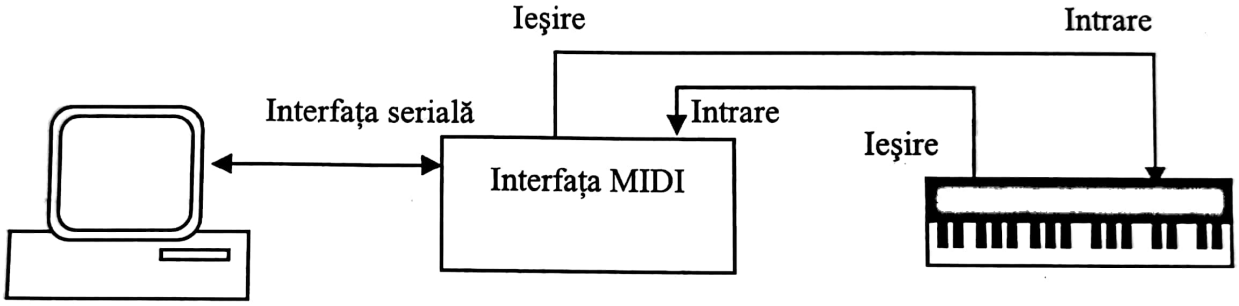


Figura 9.27. Conectarea mai multor receptoare la un calculator.

b. CONECTAREA INTERFEȚELOR MULTIPORT

Interfețele multiport au un număr independent de ieşiri MIDI, iar o astfel de interfață este conectată la calculator fie utilizând intrarea serială sau paralelă, fie prin utilizarea unei plăci suplimentare. Cele mai multe dintre sistemele multiport permit adresarea a până la 16 canale de către fiecare ieşire. Astfel, numărul de canale adresabile este de 16 × numărul de intrări/ieşiri. În astfel de sisteme, uzual fiecare instrument este conectat la portul său, ceea ce este util mai ales în ceea ce priveşte modulele de sunet ce sunt capabile să lucreze simultan pe toate cele 16 canale. Un exemplu de utilizare este prezentat în figura 9.28.

Sistemele multiport permit recepția mai multor canale simultan sau înregistrarea mai multor surse în acelaşi timp. Sistemele multiport moderne pot conține şi un cititor de cod de timp pentru sincronizarea sistemelor de înregistrare audio sau video cu sistemul MIDI. În acest scop pot fi utilizate sistemele de control MIDI, care realizează conversia codului de timp EBU în cod de timp MIDI sau echivalent. Figura 9.29 prezintă două exemple de realizare a sincronizării între sisteme de înregistrare şi interfețele MIDI multiport.

Scanned with OKEN Scanner

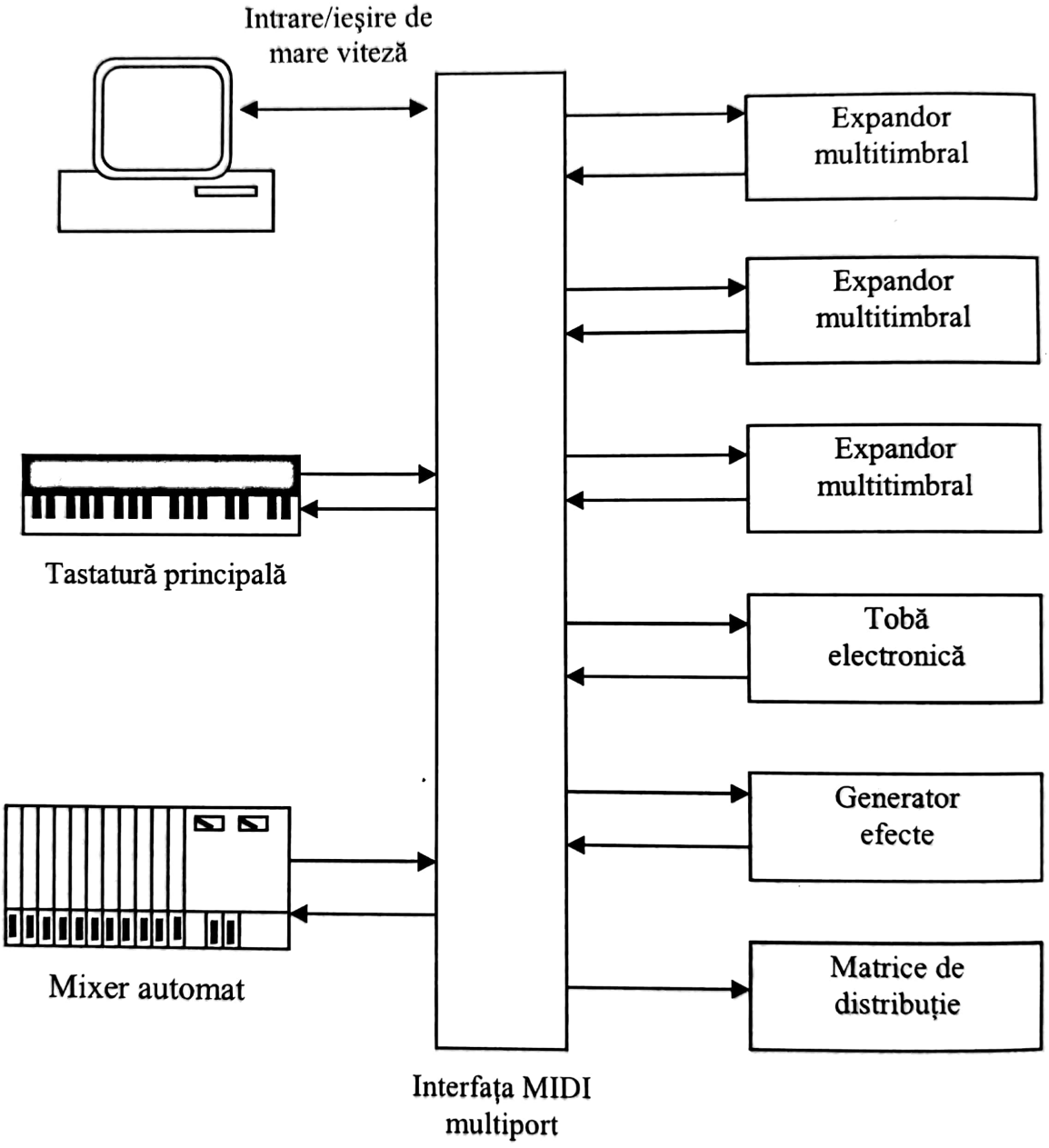


Figura 9.28. Sistem complex de conectare a unui sistem MIDI cu interfață multicanal.

Scanned with OKEN Scanner

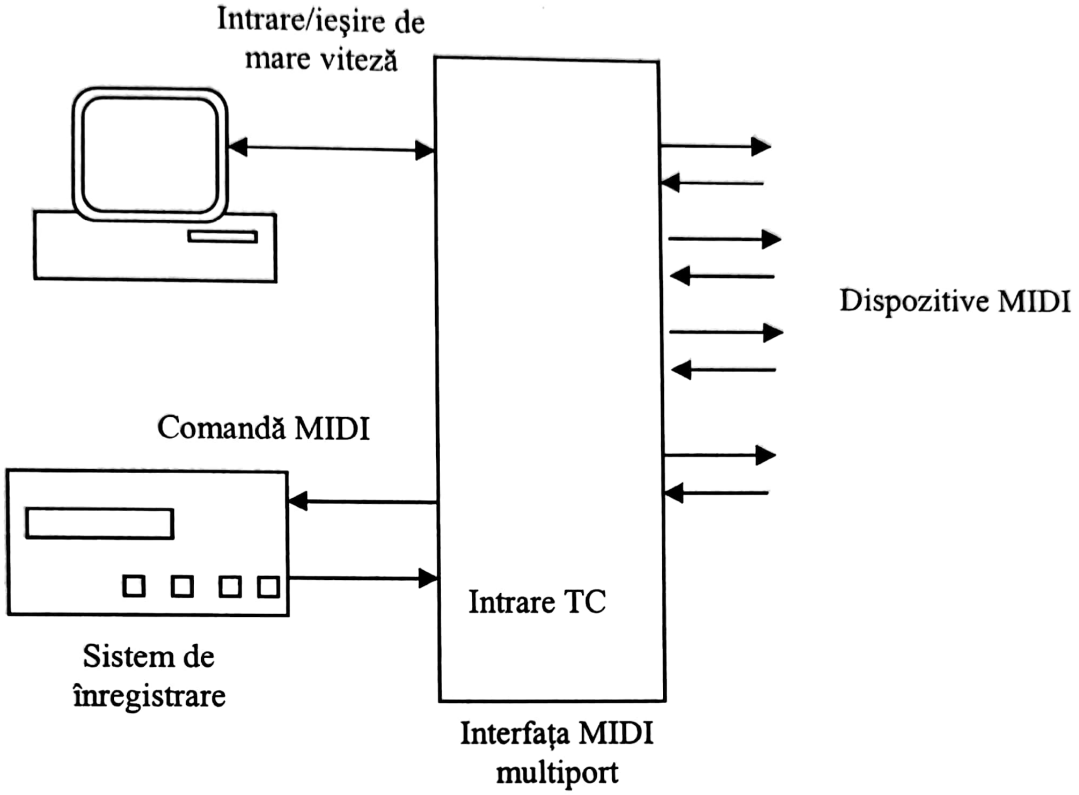


Figura 9.29. Sincronizarea între interfețele multiport şi sistemele de înregistrare.

În cazul interfețelor MIDI externe sau a plăcilor de extensie există programe care realizează adaptarea şi distribuția datelor la porturile de intrare/ieşire. În cazul pachetelor de programe pentru sistemele MIDI cele mai utilizate sunt sequencerele, care sunt capabile de înregistrarea şi prelucrarea unui număr de piste de informație MIDI, precum şi de utilizarea acestora în scopul obținerii de compoziții muzicale. De asemenea, sunt capabile de înregistrarea unor comenzi pentru automatizarea studiourilor, iar uneori pot fi echipate în vederea înregistrării audio digitale. Cele mai multe dintre pachetele de programe sunt capabile de citirea şi scrierea de fişiere MIDI şi de schimbarea de informații cu sequencerele.

Fişierele MIDI au fost dezvoltate pentru a se putea realiza direct schimbul de informație dintre diferitele pachete de programe. La ora actuală există trei tipuri de fişiere MIDI. Aceste fişiere conțin date referitoare la acțiunea individuală a instrumentelor, etichete ale pistelor, nume ale instrumentelor şi informații referitoare la timp, dar nu conțin o informație muzicală propriu-zisă. Ceea ce se doreşte este ca aceste fişiere să fie fişiere universale, care să nu depindă de un pachet soft sau de rularea lor pe un anume fel de calculator.

- Fişierele de tip 0 sunt simple, fiind utilizate pentru piste de date simple;
- Fişierele de tip 1 pot fi utilizate pentru mai multe piste, fiind posibilă sincronizarea între ele;

Scanned with OKEN Scanner

- Fişierele de tip 2 conţin piste multiple care nu sunt sincronizate între ele, putând fi rulate asincron.

Dacă fişierele MIDI sunt schimbate între sisteme este absolut necesar ca şuntul generat de cele două sisteme să fie identic. În acest scop s-au introdus elemente de bază a controlului generatorului de sunet în aşa fel încât să se asigure compatibilitatea. Astfel în tabelul 9.6 sunt prezentate numărul programului şi tipul sunetului generat de sistemele generale MIDI.

Corespondenţa între program şi tipul de sunet în sistemele MIDI generale

Tabelul 9.6

Numărul programului	**Tipul sunetului**
0 – 7	Pian
8 – 15	Percuţii
16 – 23	Orgă
24 – 31	Chitară
32 – 39	Chitară bas
40 – 47	Instrumente cu coardă
48 – 55	
56 – 63	
64 – 71	
72 – 79	Nai
80 – 87	
88 – 95	
96 – 103	Efecte sintetizate
104 – 111	Sunete
112 – 119	
121 - 128	Efecte sonore

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 10

ÎNREGISTRAREA SUNETULUI

10.1. ÎNREGISTRAREA MAGNETICĂ

10.1.1. INTRODUCERE

Abilitatea de a înmagazina şi reproduce sunetul a condus la schimbări fundamentale ale societăţii. În mai puţin de 40 de ani, sistemele de înregistrare magnetică au căpătat un rol important în producţia de materiale audio datorită versatilităţii şi uşurinţei de utilizare, devenind un auxiliar preţios al sonorizării, regăsindu-se în aproape toate instalaţiile electronice moderne. Rapida acceptare a benzii magnetice ca suport primar de înregistrare a avut la bază posibilitatea de editare fără degradarea semnalului. Succesul benzii magnetice în noile aplicaţii nu se datorează numai îmbunătăţirii tehnologiilor de înregistrare, ci şi flexibilităţii formatului de înregistrare, care permite optimizarea procesului de înregistrare în funcţie de aplicaţiile specifice.

Sistemele de înregistrare pe bandă magnetică fac parte din categoria sistemelor de stocare ce utilizează suporturi dinamice. Pentru înregistrarea analogică pe bandă magnetică, principalele caracteristici sunt:

- procesul de înregistrare este instantaneu şi nu necesită prelucrări suplimentare;
- sunt uşor de şters şi de înregistrat (evoluţia tehnologică a condus la obţinerea acestei caracteristici şi pentru înregistrarea numerică pe discuri compacte);
- sistemul permite utilizarea unui singur cap pentru înregistrare şi redare, dar în sistemele profesionale pentru obţinerea unor performanţe mai bune se utilizează capete separate;
- permite tehnica de editare prin tăiere şi adăugare.

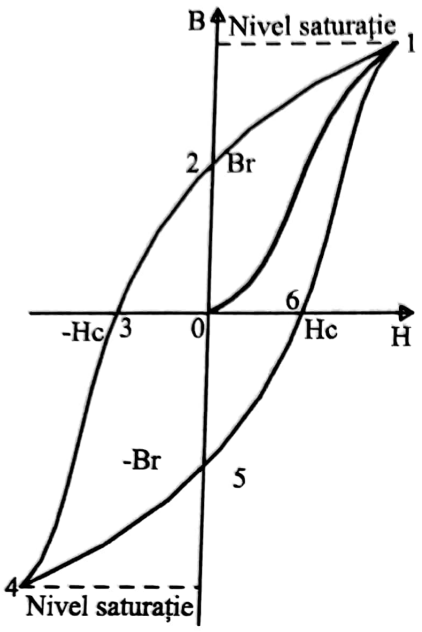


Figura 10.1. Ciclul de histerezis.

10.1.2. PRINCIPIUL ÎNREGISTRĂRII MAGNETICE

Înregistrarea magnetică se bazează pe proprietatea unor materiale magnetice de a păstra orientarea particulelor şi după încetarea forţei magnetice ce conduce la orientarea acestora. În cazul înregistrării magnetice prezintă interes materialele feromagnetice care au următoarele proprietăţi: dependenţă neliniară între inducţia magnetică (B) şi câmpul magnetic (H), remanenţă, permeabilitate magnetică relativă mare şi magnetizare spontană dependentă de temperatură. Proprietăţile magnetice ale unui material feromagnetic pot fi descrise pe baza dependenţei $B = B(H)$, (figura 10.1).

În punctul de pornire, originea graficului, materialul feromagnetic se află în stare nemagnetizată: B=0, H=0. Pe măsură ce intensitatea câmpului magnetic creşte, magnetizaţia materialului, deci şi inducţia magnetică, se măreşte, prin orientarea unor domenii magnetice, până ajunge la valoarea corespunzătoare punctului 1 ($+H_{max}$) din figură. Punctul 1 corespunde saturării magnetice când toate domeniile magnetice sunt orientate pe direcţia câmpului magnetic: $H=H_{max}$, $B=B_{sat}$. Curba 0-1 se numeşte curbă de primă magnetizare.

Dacă din punctul 1 se scade valoarea intensităţii câmpului magnetic, unele domenii magnetice vor reveni la starea de orientare aleatoare iniţială, în timp ce altele vor rămâne orientate pe direcţia câmpului magnetic. Deci inducţia magnetică va scădea. Curba obţinută în această situaţie este diferită de curba de primă magnetizare. Atunci când H devine nul (punctul 2), inducţia magnetică are o valoare dependentă de material, numită *inducţie magnetică remanentă* (B_r) şi se spune că *materialul prezintă remanenţă*. Acesta este, de fapt, efectul care face posibilă înregistrarea magnetică.

Pentru micşorarea în continuare a inducţiei, se schimbă sensul câmpului magnetic (respectiv al curentului de magnetizare) faţă de cel iniţial. Câmpul magnetic necesar anulării inducţiei magnetice (B = 0) se numeşte *câmp coercitiv* (H_c). Limita minimă a magnetizării este atinsă la saturarea inversă a materialului pentru valoarea – H_{max}. Prin revenirea cu valorile lui H la H_{max} se obţine ciclul de histerezis.

Studiind atent ciclul de histerezis din figura 10.1 se poate observa că variaţia inducţiei magnetice, care este direct proporţională cu curentul ce induce câmpul magnetic, nu este liniară în raport cu intensitatea câmpului magnetic. De asemenea este de remarcat faptul că inducţia magnetică depinde de stările magnetice anterioare.

Scanned with OKEN Scanner

10.1.3. SUPORTUL ÎNREGISTRĂRII MAGNETICE

Principalele formate utilizate ca suport al înregistrării magnetice sunt banda şi discul magnetic. Primele benzi magnetice erau formate dintr-o pulbere magnetică distribuită în mod uniform într-un material cu rol de suport (policlorură de vinil). În prezent, cele mai răspândite sunt benzile sau discurile magnetice multistrat a căror structură este (figura 10.2):

- substratul, realizat dintr-un material conductor, cu rol antistatic;
- filmul de bază, care reprezintă suportul benzii;
- stratul magnetic, format din pudră magnetică, care este purtătorul înregistrării.

Materialele utilizate pentru fabricarea filmului de bază sunt: diacetilul de celuloză, triacetilul de celuloză, policlorura de vinil şi polietilenul tereftalic (acesta din urmă numit comercial şi *mylar*). Suportul trebuie să satisfacă anumite cerinţe, impuse, de rezistenţă şi elasticitate mecanică, insensibilitate la temperatură şi apă. El are o grosime cuprinsă între 20 şi 40 μm.

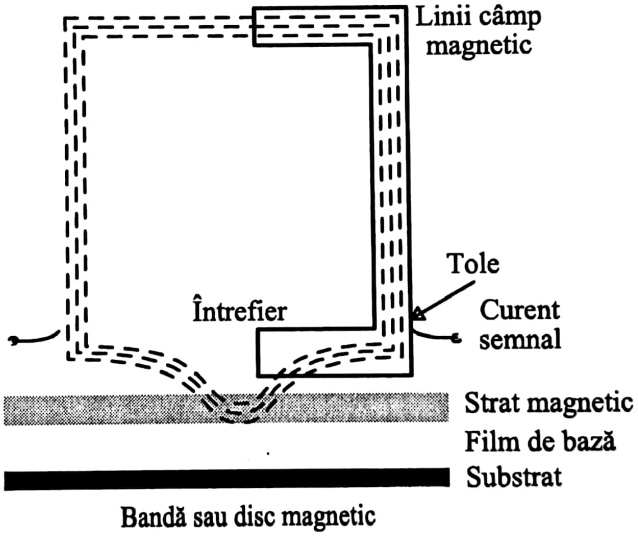


Figura 10.2. Capul şi banda magnetică.

Pudra magnetică are o grosime de 10 ÷ 15 μm şi este realizată, pentru benzile obişnuite, din oxid de fier (Fe_2O_3). Pudra este formată din particule aciculare, cu un diametru sub o zecime de μm şi cu lungimi de 0,6 ÷ 1 μm. Forma aciculară a fost aleasă deoarece, faţă de particulele sferice, asigură menţinerea mai bună a magnetizării, în condiţii de şoc mecanic sau termic. Calitatea înregistrării depinde direct de modul în care este preparată pudra magnetică, de impurităţile introduse deliberat sau accidental în structură, de dimensiunea şi forma particulelor. Consistenţa pudrei este asigurată cu ajutorul unui clei, care are şi rolul de a menţine distanţa între particule, astfel încât ele să rămână dispersate în volumul stratului magnetic. Când este uscat, cleiul nu trebuie să adere la substratul benzii, chiar în condiţiile unor

Scanned with OKEN Scanner

temperaturi mai ridicate de stocare, pentru a permite înfăşurarea benzii. Remanenţa şi coercitivitatea materialului magnetic al benzii sunt mari (material magnetic dur).

Din ciclul de histerezis din figura 10.1 se poate observa că inducţia magnetică variază neliniar în raport cu intensitatea câmpului magnetic. Prin urmare, pentru înregistrarea directă, unde intensitatea câmpului electric este proporţională cu semnalul electric de înregistrare, inducţia magnetică imprimată benzii va fi distorsionată, figura 10.3. Se poate uşor observa că inducţia remanentă nu este direct proporţională cu nivelul semnalului de intrare. Curba prezentată se mai numeşte *caracteristică de transfer a benzii*, şi trebuie să rămână stabilă timp de mai mulţi ani.

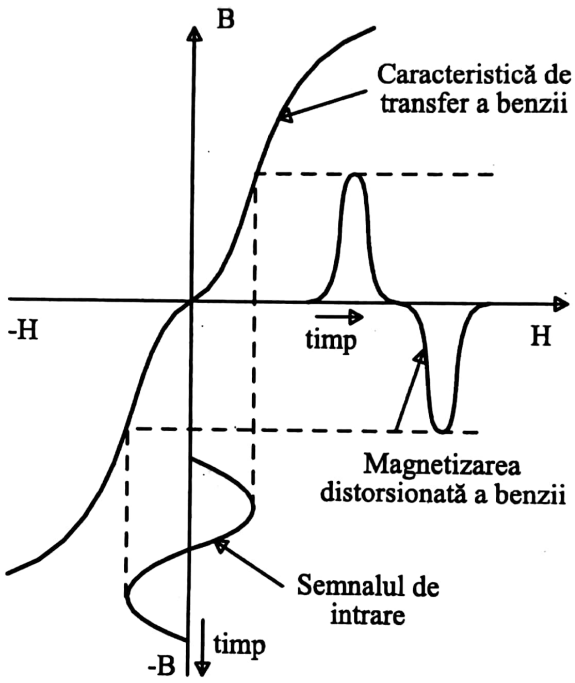


Figura 10.3. Caracteristica de transfer a benzii.

10.1.4. CAPETELE MAGNETICE

Construcţia unui cap magnetic (figura 10.2) este similară cu cea a unui transformator electric cu o singură înfăşurare. Miezul magnetic are formă inelară şi este realizat din două părţi simetrice, în formă de C. Suprafeţele de contact sunt foarte bine finisate. Între două din ele, aflate în zona de contact cu banda, se pune un material nemagnetic, care determină *întrefierul*. Cele două subansamble unite formează capul.

Miezul este obţinut dintr-un aliaj special laminat, cu remanenţă şi coercitivitate scăzută (material magnetic moale). Rolul miezului este de a furniza un traseu cu reluctanţă scăzută pentru fluxul magnetic creat de curentul semnalului de intrare, la înregistrare şi, respectiv, de deplasarea benzii, la redare.

Scanned with OKEN Scanner

Stratul magnetic al benzii oferă o cale de reluctanță scăzută pentru fluxul magnetic, care altfel ar fi fost obligat să parcurgă zona cu reluctanță ridicată a întrefierului. Intensitatea câmpului magnetic va determina o magnetizare remanentă a particulelor din pulberea magnetică, în conformitate cu ciclul de histerezis al materialului.

Reluctanța miezului capului variază în funcție de valoarea fluxului magnetic. De aceea, la capetele de înregistrare este necesară cea de-a doua întrerupere a circuitului magnetic, în plus de întrefier. Aceasta introduce o reluctanță mare, R_{plus} (independentă de flux), în serie cu reluctanța scăzută, dar variabilă, a miezului, determinând, practic, comportarea liniară a circuitului magnetic, în raport cu curentul de înregistrare:

$$NI = \Phi R_{tot} \approx \Phi R_{plus}, \qquad (10.1)$$

unde R_{tot} este reluctanța totală a circuitului magnetic, iar Φ fluxul magnetic de terminat de curentul de înregistrare.

10.1.5. ŞTERGEREA ŞI ÎNREGISTRAREA MAGNETICĂ

Ştergerea este procesul prin care se reface orientarea aleatoare a particulelor stratului magnetic al benzii, după un proces de înregistrare. Procesul de ştergere trebuie să determine ca variația fluxului Φ de pe bandă în unitatea de timp să fie nulă:

$$d\Phi / dt = 0. \qquad (10.2)$$

Cele mai utilizate metode de ştergere sunt [26]:

- Ştergerea în curent continuu, care constă în aplicarea unui câmp magnetic unidimensional, folosind fie un magnet permanent, fie un electromagnet. Dezavantajul metodei este determinat de faptul că benzile au un contur neregulat al suprafeței. Astfel, deşi informația înregistrată este ştearsă în totalitate, capul de redare va citi de pe bandă un zgomot puternic.
- Ştergerea prin demagnetizare se produce prin acționarea cu câțiva cicli de flux magnetic alternativ. Pentru realizarea ştergerii, capul trebuie să aibă un întrefier de valoare mare, pentru a permite inducerea câtorva cicluri de saturație. Întrucât ciclul de histerezis este puternic neliniar la nivele scăzute ale câmpului, ca şi în cazul ştergerii în curent continuu se determină creşterea zgomotului benzii. Pentru minimizarea acestui dezavantaj, semnalul de ştergere trebuie să prezinte distorsiuni reduse ale armonicelor pare.

Scopul procesului de redare este de a compensa caracteristica de transfer neliniară a benzii (figura 10.3) şi de a furniza un nivel suficient de ridicat pentru câmpul magnetic, încât să fie folosită întreaga gamă dinamică a acesteia. În acest scop au fost introduse următoarele tehnici de înregistrare [26]:

Scanned with OKEN Scanner

- Premagnetizarea în curent continuu, în care se introduce o componentă continuă pentru a se utiliza zona liniară a caracteristicii, care prezintă o serie de dezavantaje, printre care cel mai important este producerea de zgomot suplimentar.
- Premagnetizarea în curent alternativ, la care utilizarea celor două zone liniare se face comutând semnalul de la una la cealaltă, cu viteză foarte mare. Curentul de premagnetizare, de frecvență mare, este însumat algebric cu curentul de semnal (trebuie menționat că nu este vorba de modulație).

10.1.6. REDAREA MAGNETICĂ

La reproducerea semnalului înregistrat pe bandă, fluxul remanent variabil în lungimea benzii, conform principiului de transformare timp-distanță descris anterior, produce o tensiune indusă în capul de redare:

$$e = -k_2 \frac{d\Phi_r}{dt} = -k_2 \frac{d}{dt}\left(k_1 \cdot I \sin 2\pi ft\right) = \tag{10.3}$$
$$= -k_1 \cdot k_2 \cdot I \cdot 2\pi f \cdot \cos 2\pi ft = K \cdot I \cdot f \cos 2\pi ft .$$

Relația (10.3) evidențiază proporționalitatea tensiunii de redare cu curentul de înregistrare, factorul de proporționalitate K incluzând şi pierderile de la redare (k_2). Dacă viteza benzii este aceeaşi la înregistrare şi la redare, atunci frecvența semnalului redat este identică cu cea a semnalului înregistrat.

a. CARACTERISTICA DE REDARE

Aşa cum se observă din relația (10.3), tensiunea obținută la redare nu este constantă cu frecvența, ci se dublează la dublarea frecvenței (creşte cu 6 dB / octavă, adică 20 dB / decadă). Totodată, faza semnalului redat este schimbată cu 90° față de cea a semnalului înregistrat.

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Phi}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} . \tag{10.4}$$

În procesul de redare, un rol deosebit de important îl are dimensiunea întrefierului. Analizând *caracteristica de redare magnetică* (figura 10.4 [26]), se pot evidenția următoarele caracteristici:

- pentru semnale înregistrate, de joasă frecvență, lungimea de undă în bandă este mare şi, deci, variația de flux pe unitatea de timp, în care banda este deplasată, este mică; în astfel de situații $\lambda / l \approx 10$;
- cu cât frecvența înregistrată creşte, cu atât viteza de variație a fluxului este mai mare şi tensiunea indusă în bobina capului de redare creşte proporțional (porțiunea liniară a caracteristici), dar nu nelimitat;

Scanned with OKEN Scanner

- maximul se obţine pentru $\lambda / l = 2$, când pe o lungime de bandă egală cu înălţimea întrefierului se poate obţine variaţia maximă a unui semnal sinusoidal (înscriindu-se o jumătate de perioadă);
- peste această valoare variaţia fluxului scade, corespunzând unui interval mai mare de o jumătate de perioadă;
- pentru cazul particular în care $\lambda / l = 1$, variaţia este nulă şi, deci, tensiunea redată este nulă;
- la creşterea, în continuare, a frecvenţei semnalului înregistrat se obţin noi maxime şi noi treceri prin zero.

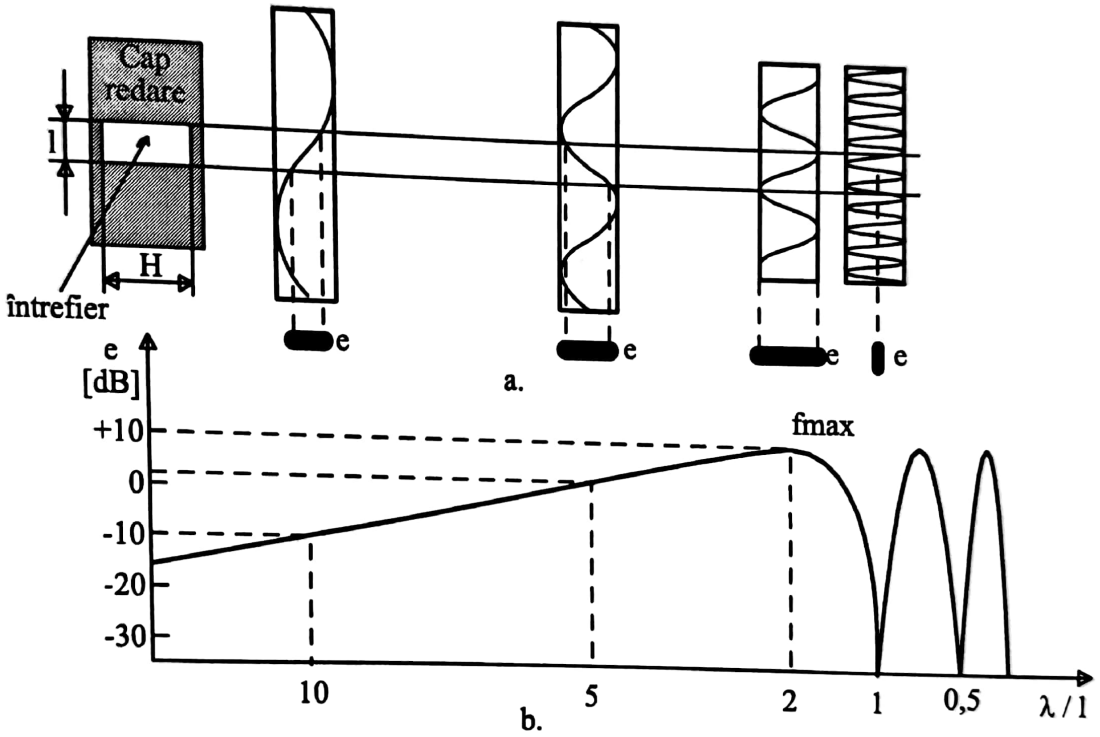


Figura 10.4. Caracteristica de redare a capului.

b. PIERDERI LA REDARE

În procesul de redare a înregistrării magnetice se manifestă următoarele tipuri de pierderi:

- Pierderi de adâncime, care se datorează principiului de citire şi care apare pentru lungimi mici ale semnalului.
- Pierderi de spaţiere, ce apar prin pierderea contactului cu banda magnetică, fiind importante mai ales în domeniul frecvenţelor ridicate.

10.1.7. PRINCIPIILE ÎNREGISTRARII AUDIO

Înregistrarea magnetică a semnalului audio foloseşte doar porţiunea liniară a caracteristicii de redare (figura 10.4). Din acest motiv, amplificatorul de redare trebuie

Scanned with OKEN Scanner

să aibă o caracteristică inversă (scăzătoare cu frecvența) pentru a asigura redarea corectă a semnalelor înregistrate, cu tensiunea de ieşire independentă de frecvență. Rezultă că domeniul utilizat pentru înregistrarea magnetică a sunetului este limitată de primul maxim:

$$f_{max} = \frac{v}{\lambda_{min}} = \frac{v}{2l}, \tag{10.5}$$

l fiind lățimea întrefierului. Peste această limită, caracteristica de redare nu mai este utilizată din cauza neliniarității şi a punctelor de anulare.

De exemplu, pentru viteza de deplasare a benzii în casetofoane de 4,75 cm/s, lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de 20 kHz rezultă:

$$\lambda_{min} = \frac{v}{f_{max}} = \frac{4{,}75 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m/s}}{20 \cdot 10^{3}\ \mathrm{Hz}} = 2{,}375 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}. \tag{10.6}$$

Această frecvență poate fi înregistrată utilizând un întrefier al capului de înregistrare de aproximativ 1 μm. Lățimea pistei înregistrate este dată de înălțimea H a întrefierului (figura 10.4). Această dimensiune este suficient de redusă pentru a se putea înregistra 4 piste, cu spații de gardă. Din acest motiv, orice bandă magnetică audio poate fi înregistrată longitudinal cu sunet stereofonic analogic, în ambele sensuri de derulare (2×2 piste).

Aşa cum am arătat în capitolul precedent, alte cauze care duc la limitarea frecvenței maxime înregistrabile pe bandă sunt:

- dimensiunea finită a particulelor magnetice din bandă;
- adâncimea mică de pătrundere a câmpului pentru frecvențe mari;
- pierderile prin curenți Foucault în capul de redare, care cresc cu frecvența [8].

Chiar şi în aceste condiții, banda de frecvențe audio poate fi înregistrată integral atât cu aparate profesionale, cât şi cu cele destinate amatorilor. Metoda înregistrării longitudinale satisface toate cerințele unei înregistrări cu mare fidelitate a sunetului.

10.2. ÎNREGISTRAREA ANALOGICĂ A SUNETULUI

În figura 10.5 este prezentată schema bloc generală a unui sistem de înregistrare-redare a benzii magnetice. Banda magnetică se deplasează prin fața capetelor de ştergere, înregistrare şi redare cu viteză liniară constantă imprimată de motorul *cabestanului*. Cabestanul este elementul care stabileşte viteza de deplasare a benzii.

Scanned with OKEN Scanner

La înregistrare, capul de ştergere demagnetizează banda, pentru a o curăţa de orice altă înregistrare mai veche. Semnalul electric de intrare este convertit de capul de înregistrare în semnal magnetic, care este apoi stocat pe bandă.

La redare, informaţia audio, stocată magnetic pe bandă, induce o replică a semnalului original în capul de redare, care o transformă în semnal audio.

Principalele cerinţe mecanice ce trebuie să fie satisfăcute la realizarea unui sistem de înregistrare-redare a benzilor sunt:

1. rolele captoare şi debitoare trebuie să fie astfel poziţionate încât să permită un contact optim cap-bandă şi o întindere corespunzătoare a benzii;
2. toate elementele de ghidare trebuie să fie exact perpendiculare pe bandă; precizia de poziţionare necesară este de ordinul micrometrilor;
3. deplasarea benzii trebuie să se realizeze la o înălţime constantă în raport cu capetele; deci, sunt necesare elemente de ghidare verticală a benzii; realizarea acestora este de asemenea critică, deoarece ele nu trebuie să deterioreze marginile benzii.

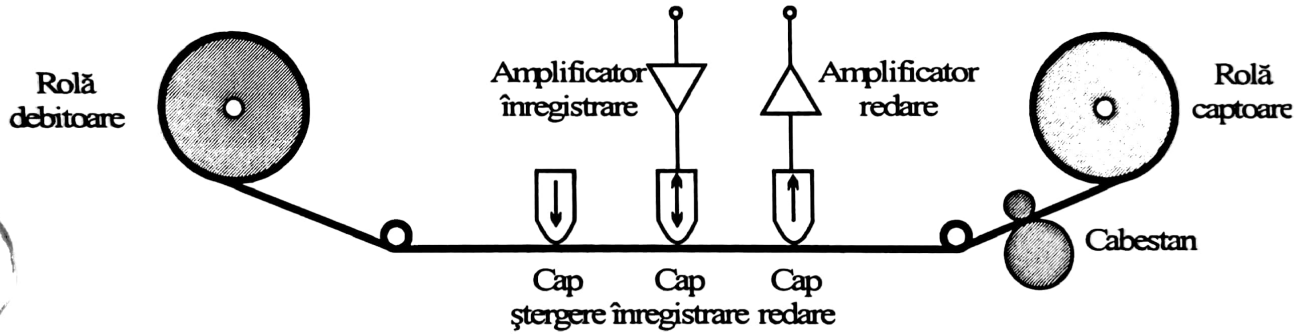


Figura 10.5. Elementele sistemului de înregistrare-redare audio.

10.2.1. MAGNETOFONUL

Principiul de funcţionare al unui magnetofon simplu este prezentat în figura 10.5. Viteza constantă de conducere a benzii este asigurată de un motor sincronizat care roteşte cabestanul, banda fiind antrenată cu ajutorul unei role presoare. Fluctuaţiile de viteză şi variaţia intensităţii sunetului trebuie păstrate sub nivelul de percepţie.

Pentru rulare şi derulare rapidă sunt prevăzute motoare separate pentru role, acestea având şi rolul de a crea tensiunea în bandă pe durata tuturor modurilor de lucru. Ghidarea benzii este obţinută prin elemente fixe sau rotative (uneori dinţate). Ghidajele rotative, fixe sau plasate pe un braţ rabatabil, sunt utilizate şi pentru izolarea mecanică a rolelor faţă de capete şi a împiedica orice tendinţă a benzii de a intra în oscilaţie longitudinală şi de a produce perturbaţii audibile.

Scanned with OKEN Scanner

Viteza de deplasare a benzii la magnetofoanele uzuale este de 95 mm/s şi 760 mm/s la cele profesionale. Lăţimea benzii poate varia de la 6,3 mm până la 51 mm.

a. CAPETELE AUDIO

Construcţia capetelor urmăreşte proiectarea tradiţională a capetelor inelare cu întrefier. Cele 3 capete utilizate diferă numai în ceea ce priveşte lungimea întrefierului, care este aleasă în funcţie de grosimea stratului magnetic şi de lungimea de undă minimă care trebuie înregistrată.

Alegerea materialului miezului este dependentă de posibilitatea de prelucrare mecanică şi integritatea magnetică a suprafeţei şi marginilor întrefierului. În general, se preferă miezurile laminate, fabricate din *permaloy*, în cazurile cele mai simple, sau din *alfenol* sau un echivalent, dacă se doresc caracteristici speciale pentru capete.

În general, pentru capetele de ştergere se utilizează un întrefier dublu, pentru a elimina fenomenul de reînregistrare. De obicei, curentul de premagnetizare şi cel de ştergere au aceeaşi frecvenţă (100 kHz), dar la echipamentele profesionale, pentru îmbunătăţirea efectului de premagnetizare şi pentru creşterea eficienţei ştergerii, frecvenţa de ştergere este o subarmonică a frecvenţei de premagnetizare (de exemplu, frecvenţa de ştergere este de 80 kHz iar cea de premagnetizare de 240 kHz).

În funcţie de performanţele necesare şi de complexitatea acceptată, au fost dezvoltate două structuri de magnetofoane: cu trei capete şi, respectiv, cu două capete [26].

b. CONFIGURAŢIA PISTELOR ŞI EGALIZAREA

La magnetofoane se utilizează un sistem cu piste stereo pentru cel mai simplu aparat de înregistrat profesional cu banda de 1/4 ţoli. În echipamentele de uz general se utilizează un sistem cu 4 piste, din care două sunt utilizate pentru înregistrare într-o direcţie iar celelalte două pentru înregistrarea în cealaltă direcţie. Datorită întreţeserii pistelor sistemul este incompatibil cu cel monofonic. În studiourile de înregistrare se utilizează benzi mai late şi mai multe piste pentru a putea obţine editarea complexă, mixarea şi efectele speciale necesare. Cea mai lată bandă este de 51 mm şi permite înregistarea a 16 piste cu o lăţime de 0,18 mm. Acestea pot fi extinse la un număr de 24, dacă se micşorează lăţimea pistei la 0,11 mm cu un sacrificiu de 2,4 dB în ceea ce priveşte raportul semnal/zgomot.

Postegalizarea standard constă din integrarea liniară a funcţiei de frecvenţă. Cele mai importante standarde pentru preaccentuare în înaltă frecvenţă sunt prezentate în figura 10.6 [20].

La 15 kHz accentuarea este între 10,7 şi 16,5 dB. Aceste nivele de postegalizare sunt insuficiente pentru a putea compensa toate pierderile de înregistrare şi redare şi de aceea, pentru a echilibra balanţa şi a obţine un răspuns plat cu frecvenţă, este necesară utilizarea preegalizării. Pentru preegalizare au fost stabilite standarde internaţionale în funcţie de tipul benzii utilizate.

Scanned with OKEN Scanner

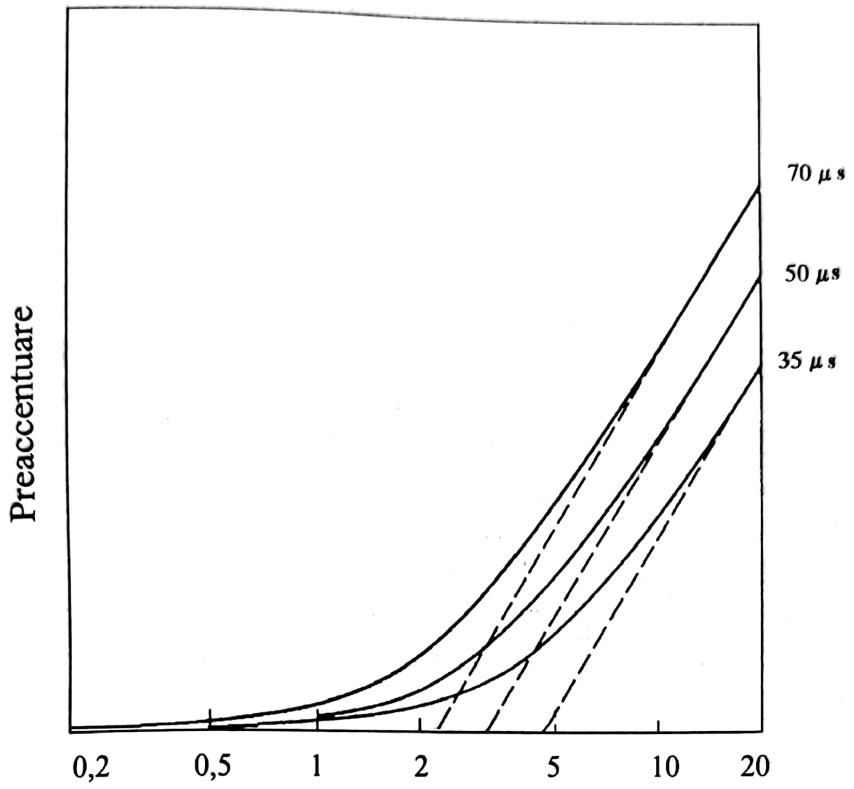


Figura 10.6. Standarde de preaccentuare.

Standardele de benzi sunt disponibile şi nu ajută numai la alegerea corecției răspunsului de frecvență, dar permite şi alegerea fluxului de înregistrare pe unitatea de lățime de pistă. O altă importantă funcție în standardizarea benzii o constituie alinierea unghiului de azimut a capului.

c. SUPORTUL MAGNETIC

Pentru înregistrarea cu magnetofoane se utilizează un strat magnetic din oxid. Pentru benzile de uz general, acoperirea este de 5 - 7 μm, realizată pe o bază de film de poliester cu grosimea de 25 μm, mai mică pentru cazul în care durata de rulare este mai mare. Pentru uz profesional, acoperirea este crescută la 10 μm, sau mai mult, pentru a se îmbunătăți nivelul maxim de la ieşire la lungimi de undă mari (frecvențe joase). Grosimea filmului de bază este crescută la 38 μm, pentru a reduce efectul de tipărire prin contact.

Tradițional, Fe_2O_3 a dominat materialele utilizate pentru benzile de magnetofon, datorită prețului de cost scăzut. De-a lungul anilor, particulele de Fe_2O_3 au devenit mai mici, mai uşor de orientat şi difuzat şi cu posibilitatea creşterii raportului semnal/zgomot. Aceste avantaje, împreună cu progresul înregistrat în tehnologia acoperirilor şi tratarea suprafețelor, au făcut posibilă obținerea unui raport semnal-zgomot de 60 dB, pentru înregistrarea de studio utilizând o bandă de înaltă calitate

Fe_2O_3. Cel mai mic raport semnal-înregistrare după o stocare modestă la o frecvență de 1,2 kHz a fost de 60 dB (incluzând o regiune de maximă audibilitate).

Aparatele pentru înregistrările audio de uz general obțin rezultate cu 5 - 10 dB mai slabe, acestea depinzând de viteza benzii, de calitatea acesteia, precum și de calitatea echipamentului.

10.2.2. CASETOFONUL

Caseta compactă a fost introdusă la începutul anilor '60 pentru realizarea înregistratoarelor audio portabile cu performanțe mai reduse. Caseta a fost rapid acceptată ca standard internațional, iar în timpul anilor '70 a fost îmbunătățită, devenind competitivă cu benzile de magnetofon de înaltă performanță.

Caseta conține două role de bandă, conduse din exterior cu ajutorul unor role dințate. Banda îngustă, cu lățime de 3,8 mm, este transferată de pe o rolă pe alta cu ajutorul a doi cilindri rotativi, câte unul la fiecare din cele două colțuri superioare.

Inițial, caseta a fost proiectată pentru utilizarea unui singur cap cu funcție de înregistrare și redare. Acum, cele mai multe casetofoane utilizează capete separate pentru redare și înregistrare. Capul de redare este întotdeauna poziționat. Capul de înregistrare poate lua contact cu banda prin una din deschiderile laterale ale casetei, sau este integrat în structura capului de redare. Pentru miezul capului pot fi utilizate atât ferite cât și metale.

Pentru înregistrare sunt utilizate 4 piste care furnizează 2 căi stereo, similar cu magnetofonul cu 4 piste, însă dispunerea pistelor este diferită, asigurându-se compatibilitatea cu sistemele mono.

Benzile pentru casetele compacte au fost construite pe trei mărimi C60, C90, C120, unde numărul indică durată totală în minute de înregistrare pe cele două părți. Benzile diferă numai în ceea ce privește grosimea filmului de bază (grosimi între 6 μm și 12 μm), iar grosimea învelișului este de aproximativ 5 μm, mai mică pentru C120. Obținerea de performanțe ridicate utilizând piste înguste și viteze reduse ale benzii au impus dezvoltarea materialelor magnetice. Au fost implementate toate măsurile ce puteau duce la reducerea zgomotului: particule mai mici și mai uniforme, îmbunătățirea dispersiei și orientării particulelor, precum și mărirea densității particulelor în înveliș. În felul acesta au rezultat benzi care, din punct de vedere al proprietăților magnetice (orientare a particulelor, remanență), sunt superioare tuturor celorlalte medii magnetice. S-au utilizat materiale magnetice noi cu proprietăți îmbunătățite, ajungându-se la rapoarte semnal/zgomot de 50 dB și la rapoarte semnal /înregistrare de 40 ÷ 50 dB, în funcție de grosimea filmului de bază și de materialul magnetic utilizat pentru bandă.

Pentru a reduce zgomotul introdus de mediile de înregistrare magnetice (bandă sau disc magnetic) au fost dezvoltate sisteme speciale.

Scanned with OKEN Scanner

10.3. REDUCEREA ZGOMOTELOR

În general, se doreşte ca semnalul de la ieşirea unui mediu de transmisie sau de înregistrare să reproducă cât mai fidel sursa originală. Mediul de înregistrare a fost, din totdeauna, elementul slab în lanţul audio. Până acum am considerat fenomenul de înregistrare simplificat (idealizat). În realitate, apar o serie de fenomene care scad calitatea înregistrării [31]. Cauzele principale de apariţie a acestora sunt:

- ştergerea imperfectă a benzii;
- distorsiunile armonice datorate curenţilor de polarizare;
- tensiunile induse de câmpurile parazite în capul de redare;
- calitatea capetelor şi benzii magnetice.

O parte a acestor fenomene pot fi îndepărtate relativ uşor prin ameliorarea eficacităţii ştergerii, îmbunătăţirea liniarităţii curenţilor de polarizare, ecranarea capetelor şi reglarea corectă a azimutului.

Zgomotul introdus de capul de redare se datorează în principal rezistenţei echivalente de pierderi, fiind un zgomot termodinamic. Din acest motiv, pentru reducerea acestuia, se recomandă utilizarea capetelor de ferită datorită rezistivităţii ridicate.

În ceea ce priveşte zgomotul de fond, acesta se datorează în principal repartiţiei neomogene a stratului fero-magnetic al benzii. Progreselor tehnologice din ultimii ani au condus la ameliorarea proprietăţilor benzilor în privinţa omogenităţii şi densităţii.

Sistemele de reducere a zgomotelor au fost introduse pentru reducerea zgomotului introdus de mediul de înregistrare. Caracteristicile principale ale acestora sunt:

- să nu introducă distorsiuni neliniare în semnalele prelucrate;
- să nu genereze zgomot adiţional în prezenţa semnalului şi să aibă un zgomot propriu mic;
- corecţia să nu depindă de canalul de înregistrare;
- caracteristicile sistemului să fie fixe şi reproductibile.

Sistemele de reducere a zgomotului pot fi clasificate în:

- sisteme cu acţiune singulară;
- sisteme cu acţiune complementară.

10.3.1. SISTEME CU ACŢIUNE SINGULARĂ

Sistemele cu acţiune singulară acţionează asupra programelor audio peste care deja este suprapus zgomot. Prelucrarea modifică atât semnalul cât şi zgomotul, în sensul minimizării percepţiei acestuia din urmă. Aceste sisteme includ filtre fixe sau programabile. Întrucât unele zgomote sunt foarte asemănătoare cu semnalul util,

Scanned with OKEN Scanner

numai în cazuri excepționale sistemele cu acțiune singulară pot reduce zgomotul fără a schimba calitatea semnalului audio original.

a. SISTEMUL NFD

Filtrul de zgomot dinamic NFD (*Noise Filter Dinamic*) utilizează faptul că urechea umană nu este la fel de sensibilă la toate frecvențele din spectrul audio. Sensibilitatea și răspunsul în frecvență variază mult cu intensitatea sunetului. Curbele de egală intensitate sunt foarte plate, la niveluri ridicate și la niveluri joase ale intensității sunetului, atât la frecvențe înalte, cât și la frecvențe joase. Se poate obține un avantaj de la caracteristica urechii dacă se reglează răspunsul de frecvență al unui filtru adaptiv pentru a furniza progresiv mai multe tăieri la frecvențe înalte pe măsură ce nivelul semnalului scade.

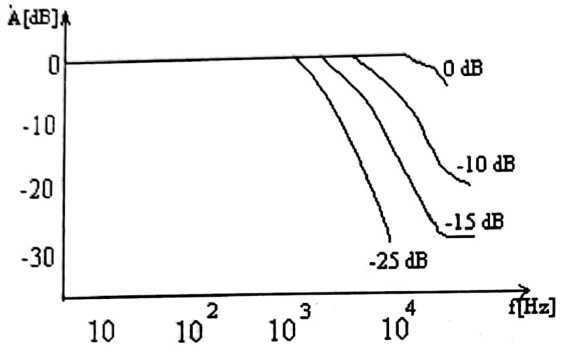


Figura 10.7. Caracteristica filtrului dinamic.

Datorită adaptării la răspunsul propriu al urechii, rezultatul este mult mai bun decât cel obținut cu un filtru fix. În general, nu este necesar să se modifice răspunsul de frecvență joasă a unui filtru de zgomot dinamic pentru a realiza o îmbunătățire subiectivă în performanța de zgomot, pentru că zgomotul din afara benzii de înregistrare are un spectru predominant de înaltă frecvență. Deci, răspunsul de frecvență după adaptare este plat la niveluri înalte și se obține o reducere a zgomotului (figura 10.7). Aceste sisteme sunt utilizate în aparatura audio de înaltă fidelitate.

b. SISTEMUL DNL

Sistemul cu limitare dinamică a zgomotului DNL (*Dynamic Noise Limiter*) a fost brevetat de firma Philips și funcționează asemănător cu filtrul dinamic (NFD). Semnalul audio de frecvență medie-înaltă (4 ÷ 18 kHz) și nivel mai mic decât 40 dB este defazat cu 180° și însumat cu semnalul audio inițial. Se obține astfel o îmbunătățire a raportului semnal/zgomot de aproximativ 8 dB, dar prezintă dezavantajul atenuării semnalului audio util de nivel foarte mic, comparabil cu cel al zgomotului, deoarece calea defazată nu face diferența între acesta și zgomot. Schema bloc a sistemului este prezentată în figura 10.8.

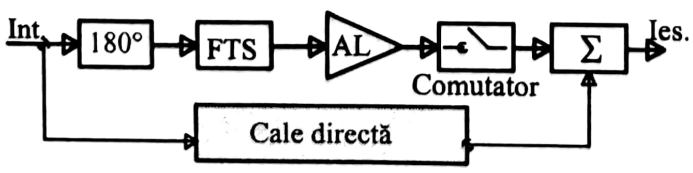


Figura 10.8. Schema bloc a sistemului DNL

Semnalul de intrare este aplicat pe două căi: una directă și una de compensare a zgomotului. Pe cea de-a doua cale se

realizează următoarele prelucrări:

- defazarea cu 180 de grade a semnalului de intrare pe calea indirectă,
- filtrarea trece-sus a semnalului (la frecvențe medii-înalte),
- amplificarea și limitarea semnalului (A.L.),
- comutarea (deoarece compensarea se realizează numai la niveluri mici, comutatorul are rolul de blocare a căii de prelucrare în cazul semnalelor de nivel ridicat),
- însumarea semnalului prelucrat cu cel de pe calea directă.

c. PORȚI DE ZGOMOT

O poarta de zgomot este un comutator automat dependent de nivelul semnalului audio original. Zgomotul este deranjant în special atunci când nivelul semnalului de intrare este foarte mic. De aceea, pe durata acestor pasaje, se poate limita, sau chiar suprima, semnalul de ieşire prin intermediul unei porți de zgomot. Nivelul semnalului de intrare este examinat de un senzor de nivel: dacă el se află sub o anumită limită, contactul se deschide (se spune că poarta este închisă), iar dacă nivelul semnalului următor depăşeşte limita, contactul este închis (se spune că poarta este deschisă).

Metoda prezintă câteva dezavantaje:

- este imposibil să nu existe semnale utile cu nivel mai mic decât cel al limitei alese; aceste semnale sunt tăiate când poarta se închide.
- există pericolul ca un semnal stabil aflat la nivelul limitei să provoace oscilația porții; pentru a preveni această situație, trebuie utilizate circuite şi senzori cu histereză;
- sistemul nu acționează asupra zgomotelor ce afectează semnalele utile de nivel mare.

10.3.2. SISTEME COMPLEMENTARE

Sistemele cu acțiune complementară acționează atât în procesul de înregistrare, cât şi în procesul de redare. Prelucrarea implică două faze:

- compresia semnalului audio la înregistrare, al cărei efect principal este ridicarea nivelurilor joase ale semnalului,
- expandarea la redare, al cărei efect este refacerea dinamicii semnalului original, ceea ce duce la creşterea raportului semnal / zgomot,

motiv pentru care sistemul se numeşte şi cu *compandare*.

Cel mai simplu exemplu de sistem cu acțiune complementară îl reprezintă filtrele de pre şi post accentuare, însă termenul de reducător de zgomot este rezervat

Scanned with OKEN Scanner

sistemelor la care prelucrarea include şi adaptarea la caracteristicile variabile ale semnalului de intrare.

a. SISTEMUL DOLBY A

Sistemul de reducere a zgomotului Dolby A a fost realizat în 1966. Acesta este un sistem complex, destinat înregistrărilor profesionale în care prelucrarea semnalului se realizează diferit în patru benzi distincte ale semnalului audio. Necesitatea divizării spectrului audio în patru benzi diferite apare deoarece, pentru semnalele de nivel mediu şi ridicat, acţiunea de reducere a zgomotului este eliminată, lucru ce se întâmplă pentru realizarea corecţiei în întreaga bandă audio. Alocarea benzilor este dependentă de efectul de mascare asupra reducerii subiective a zgomotului în porţiunile spectrului ocupat de semnalele cu o amplitudine mai mare decât pragul de compresie.

Cele patru benzi sunt:

1. bandă de trecere cu frecvenţe mai mici de 80 Hz, care permite reducerea brumului de alimentare şi a bârâiturilor;
2. bandă de trecere de la 80 Hz la 3 kHz, care permite reducerea zgomotului de bandă largă şi a diafoniei;
3. bandă de trecere cu frecvenţe mai mari de 3 kHz, care permite reducerea şuierăturilor;
4. bandă de trecere cu frecvenţe mai mari de 9 kHz.

Benzile 1, 3 şi 4 folosesc filtre Butterworth cu 2 poli, plasate într-o reţea diferenţială, iar banda 2 foloseşte un filtru având un răspuns în frecvenţă complementar celor utilizate pentru separarea benzilor 1 şi 3. Avantajul acestei metode este că nici o parte a semnalului audio nu este omisă din cauza micilor erori din frecvenţa filtrelor. Schema bloc simplificată a sistemului este prezentată în figura 10.9.

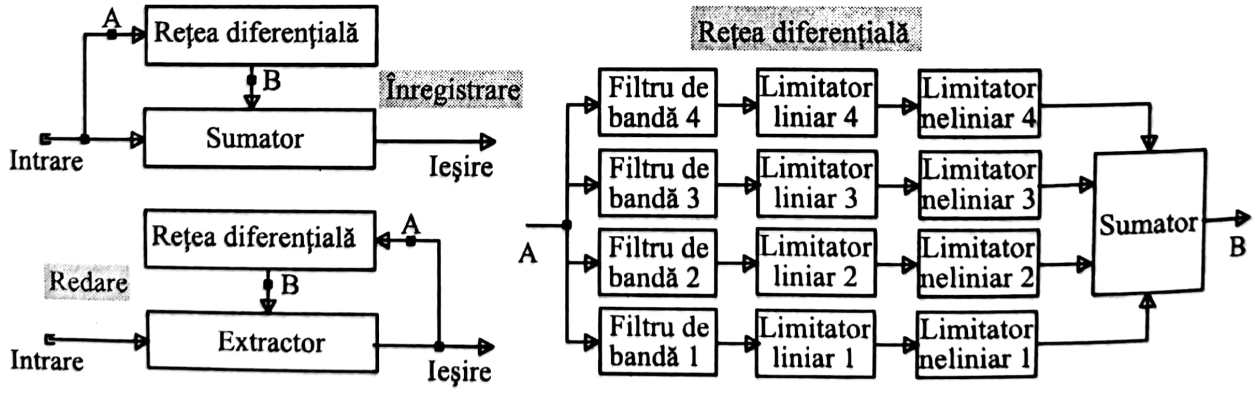


Figura 10.9. Sistemul Dolby A.

Pentru a asigura decodarea corectă, fiecare bandă magnetică ce este codată cu Dolby A are înregistrat pe ea un ton Dolby modulat în frecvenţă şi constant în nivel.

Scanned with OKEN Scanner

Sistemul a fost folosit în studiourile profesionale de înregistrări audio, dar şi în industria cinematografică pentru stocarea sunetului şi în telecomunicaţii. Sistemul este capabil de performanţe ridicate nu numai pentru reducerea zgomotului, dar şi în ceea ce priveşte calitatea şi posibilitatea utilizării în condiţiile canalelor de transmisie imperfecte.

b. SISTEMUL DOLBY B

Sitemul Dolby A era prea scump pentru aparatura de uz general. La aceste aparate, zgomotul predominant apare la frecvenţe înalte. Testele realizate au arătat că banda 3 a sistemului Dolby A, cu o atenuare de 10 dB, nu este suficientă pentru a reduce eficient zgomotul. Dacă însă banda este lărgită cu 500 Hz, rezultatul este de asemenea nesatisfăcător, datorită apariţiei unei modulaţii a zgomotului. Soluţia a reprezentat-o utilizarea unei tehnici noi, numită *bandă alunecătoare* (*sliding band*), descoperită de Berkovitz şi Gundry în 1973.

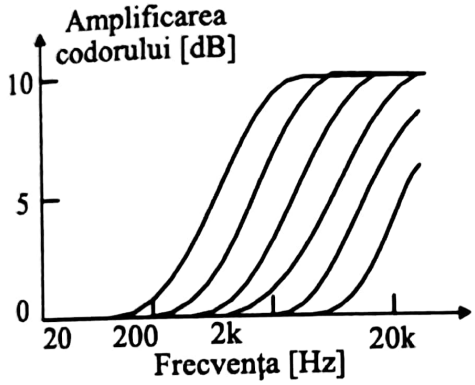


Figura 10.10. Răspunsul în frecvenţă al sistemului Dolby B.

Sistemul Dolby B lucrează în domeniul 300-18.000 Hz (figura 10.10) şi produce o ameliorare a raportului semnal/zgomot de 9dB. Acesta nu este însă un dezavantaj, deoarece în sistemele comerciale este posibilă eliminarea bâzâitului de joasă frecvenţă printr-o proiectare eficace şi o amplasare potrivită a circuitelor. Semnalul original ce trebuie înregistrat se aplică pe o cale directă (figura 10.11.a), cu amplificare uniformă, unui etaj de însumare. În acelaşi timp, semnalul original (A) ajunge şi la un circuit auxiliar (figura 10.11.b), care selectează componentele cu amplitudine mică şi frecvenţe ridicate. La ieşirea circuitului apare semnalul B, care se aplică aceluiaşi sumator, astfel încât semnalul înregistrat este A+B.

La redare semnalul este aplicat simultan pe două căi: o cale directă, care furnizează sumatorului semnalul A+B şi o cale ce conţine un circuit auxiliar, care furnizează semnalul -B. Acesta, prin intermediul sumatorului, este scăzut din semnalul original, dar cu zgomot redus. Semnalul original trece printr-un filtru trece sus (f1), care suprimă componentele de joasă frecvenţă. În continuare, semnalul care conţine numai componentele de frecvenţe medii-înalte este aplicat unui filtru trece sus (f2). Acesta este un filtru activ cu atenuare în banda de trecere comandată. Comanda se face prin intermediul amplificatorului A2, un bloc redresor şi un integrator neliniar.

La niveluri mari ale semnalelor de frecvenţă medii înalte, tensiunea redresată este mare şi, prin intermediul integratorului neliniar (filtrul f2 este blocat), semnalul de ieşire al amplificatorului A1 este nul. Semnalele mici de frecvenţe medii-înalte dau o tensiune mică la ieşirea amplificatorului A2, care va fi redresată şi prin intermediul

Scanned with OKEN Scanner

integratorului neliniar (filtrul f2 este blocat), semnalul de ieşire al amplificatorului A1 fiind nul.

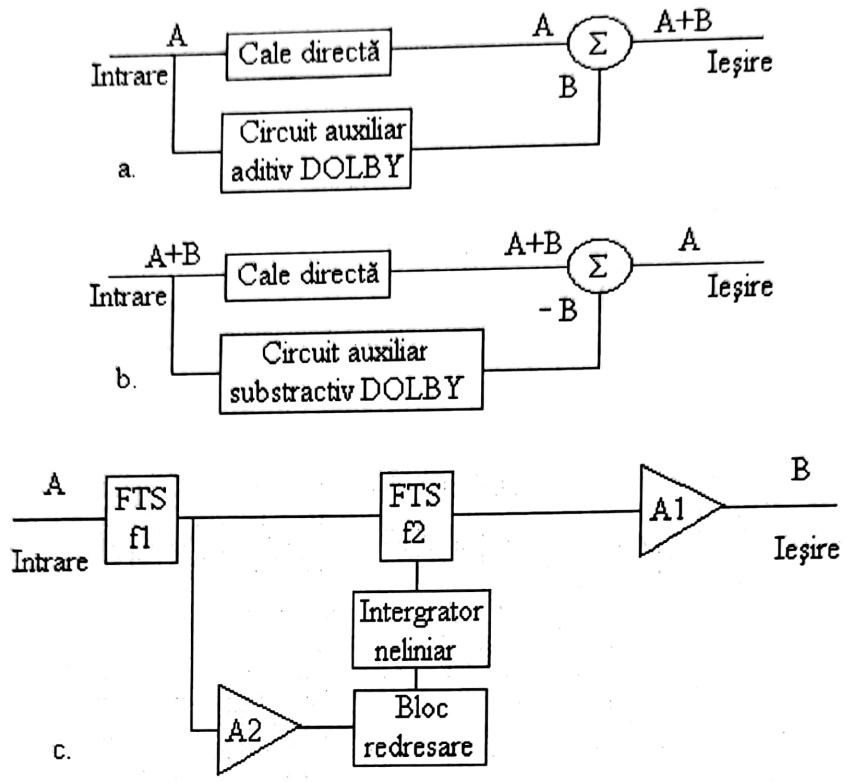


Figura 10.11. Sistemul Dolby B: a) la înregistrare; b) la redare; c) circuitul auxiliar.

Când nivelul semnalului de intrare este sub valoare de prag (de aproximativ 40 db sub nivelul Dolby la frecvenţe înalte), redresorul şi integratorul produc pierderea controlului semnalului şi traiectoria secundară e proporţională cu nivelul semnalului din interiorul benzii de trecere. Întrucât nivelul semnalului din interiorul benzii de trecere sporeşte, semnalul de control creşte în nivel ridicând frecvenţa de întrerupere a filtrului, astfel încât prin nivelul de vârf semnalul, în traiectoria sa secundară, este atât de slab încât nu are nici un efect semnificativ asupra nivelului de ieşire al codificatorului. Astfel, dacă un nivel înalt de semnal apare în interiorul benzii de trecere a filtrului, frecvenţa de întrerupere este modificată crescător, astfel încât acţiunea de reducere a zgomotului continuă peste cel mai puternic semnal, eliminând problema modulării nivelului de zgomot de către componentele frecvenţei scăzute a semnalului.

Cele mai importante companii de înregistrări din lume au adoptat sistemul Dolby B ca standard pentru casetele preînregistrate.

c. SISTEMUL DOLBY C

Sistemul Dolby C a fost lansat în 1983, ca o variantă îmbunătăţită a sistemului Dolby B. Ca şi variantele A şi B, sistemul Dolby C utilizează circuite de compresie

biliniare, cu canale laterale similare, dar îmbunătăţeşte reducerea zgomotului la 20 dB. El utilizează două benzi alunecătoare, în tandem, cu atenuări de 10 dB fiecare, aplicate în două faze. Cele două benzi sunt similare cu cele folosite de Dolby B, însă sunt extinse în jos cu două octave. Pragurile de decalare sunt alese astfel încât aria de compresie maximă a uneia să corespundă ariei de compresie scăzută a celeilalte.

Pentru realizarea caracteristicilor complementare în compresor şi expandor nu este de ajuns să nu existe pierderi, ci este necesar ca semnalul distribuit de înregistrator către expandor să aibă aceeaşi amplitudine, frecvenţă şi fază ca şi compresorul ce alimentează înregistratorul. Din nefericire, există multe motive pentru care sensibilitatea frecvenţei înalte a unui casetofon poate fi slabă: polarizare incorectă, uzura capului, egalizare slabă, capete de redare murdare, bandă magnetică pentru care aparatul nu a fost conceput etc. Aceste erori produc pierderi în orice sistem, dar la casetofoane este posibil să rezulte o modulare a frecvenţei de nivel scăzut sau mediu. Dolby C urmăreşte reducerea efectului modulării mijlocului benzii de frecvenţe. Dacă semnalul predominant furnizat de compresor este o frecvenţă înaltă intermitentă, atunci acesta controlează valoarea comprimării aplicate semnalului. Toate frecvenţele ce sunt comprimate (incluzând frecvenţa mijlocului benzii spectrale) au un nivel aflat sub cel de control al frecvenţelor înalte. Dacă aparatul de redat nu e capabil să reproducă cu exactitate frecvenţele înalte, frecvenţele mijlocului de bandă spectrală nu sunt corect decodate, deoarece semnalul de control, care le-a provocat schimbarea în nivel din compresor, nu poate fi reprodus cu exactitate în expandor. Pentru a preveni acest efect, sistemul Dolby C are o simetrie spectrală.

Sistemul Dolby C rezolvă şi problema saturaţiei de înaltă frecvenţă, adică a reducerii nivelului maxim de frecvenţă înaltă ce poate fi înregistrat pe bandă magnetică.

Deşi sistemul de reducere a zgomotului Dolby C este utilizat într-un număr mare de înregistratoare de uz general, el nu a fost adoptat ca standard pentru realizarea casetelor preînregistrate. Domeniul principal de utilizare îl reprezintă înregistrarea semnalului audio în formatele video profesionale Betacam şi MII.

d. SISTEMUL DOLBY HX

În 1979 firma Dolby Laboratories a realizat un dispozitiv care îmbunătăţea înregistrarea la frecvenţe înalte. Principiul de funcţionare a primit denumirea *Dolby Headroom-Extension* (HX), adică mărirea capacităţii de suprasarcină. După cum se ştie [26], la frecvenţe înalte apare o saturare mai rapidă a benzii (scăderea inducţiei remanente înregistrate), ceea ce duce la scăderea sensibilităţii faţă de nivelul curentului de polarizare. Deoarece de acest nivel depinde nivelul distorsiunilor neliniare, este necesară modificarea valorii curentului de polarizare funcţie de spectrul semnalului înregistrat. Acest lucru este realizat de sistemul Dolby HX.

Scanned with OKEN Scanner

Deşi nu face o reducere propriu-zisă a zgomotului, prin creşterea nivelului semnalelor de frecvenţă înaltă cu 2 dB, sistemul îmbunătăţeşte implicit şi raportul semnal / zgomot.

O variantă perfecţionată a acestui sistem este Dolby HX PRO, care evită saturarea benzii magnetice utilizând un circuit specializat pentru păstrarea constantă a sumei dintre curentul de premagnetizare şi curentul de audiofrecvenţă.

e. SISTEMUL DOLBY SR

În anii '80 au apărut înregistrările magnetice numerice şi discul compact, la care raportul semnal/zgomot este de aproximativ 90 dB. Înregistrările audio profesionale care foloseau sistemul de reducere a zgomotului Dolby A ofereau rapoarte semnal/zgomot de aproximativ 80 dB pentru înregistrarea semnalului stereo. În 1986 Dolby Laboratories a introdus o nouă prelucrare analogică pentru semnalul audio înregistrat pe bandă magnetică, numită *înregistrare spectrală* SR (*spectral recording*), care oferă, dacă este utilizată în combinaţie cu un înregistrator de bună calitate, o gamă dinamică de peste 90 dB, fără distorsiuni de modulaţie auzibile.

Şi acest sistem încorporează caracteristicile sistemelor Dolby A şi C. Asimetria spectrală şi antisaturaţia sunt utilizate într-un mod similar sistemului Dolby C, fiind însă aplicate atât la frecvenţe înalte, cât şi la cele joase, deoarece este un sistem profesional. Semnalele de nivel înalt sunt reduse, la ambele extreme ale domeniului de frecvenţă, pentru a se putea elimina efectele saturaţiei. Semnalele cu nivel scăzut sunt amplificate în mod selectiv, astfel încât să se adapteze cât mai bine restricţiilor impuse de caracteristicile benzii magnetice.

Sistemul combină avantajele compresoarelor cu bandă fixă, folosite în Dolby A, cu cele ale compresoarelor cu bandă de alunecare, folosite în Dolby B şi C, având ambele tipuri de compresoare în fiecare din cele 5 trepte ale procesului de prelucrare. Pentru utilizarea cât mai eficientă a fiecărui compresor se foloseşte, ceea ce Dolby numeşte, acţiune substituită şi control modulat. La fel ca şi celelalte sisteme Dolby, compresoarele biliniare sunt echipate pentru a genera un semnal de canal lateral, care este adăugat semnalului principal de nivel înalt în scopul scoaterii în evidenţă a caracteristicii compresorului şi care este scăzut din semnalul principal pentru a evidenţia caracteristica expandorului.

Ca şi la Dolby C, sistemul Dolby SR are 5 trepte diferite (10 benzi de frecvenţă), folosite în tandem: trei sunt folosite pentru frecvenţe înalte şi două pentru frecvenţe joase, cu o suprapunere de 800 Hz. Rezultatul constă în reducerea cu 25 dB a zgomotului. Testele auditive comparative între înregistrările numerice şi cele analogice realizate în sistem SR au demonstrat un uşor avans a acestora din urmă.

Sistemul Dolby SR este utilizat în special în industria înregistrărilor profesionale şi în cea de film (sistemul *Dolby Stero SR films*).

Scanned with OKEN Scanner

f. SISTEMUL DOLBY S

Sistemul Dolby S este o versiune comercială a lui Dolby SR, introdus în 1990. Cu toate acestea, el include toate trăsăturile lui SR, dar îi reduce complexitatea având mai puține compresoare (5, spre deosebire de cele 10 ale sistemului SR). El utilizează două trepte de înaltă frecvență, fiecare furnizând o reducere de 12 dB a zgomotului de peste 400 Hz şi o treaptă de joasă frecvență cu o atenuare de 10 dB a zgomotului de sub 200 Hz. Gama dinamică rezultată este de aproximativ 85 dB, adică foarte apropiată de cea oferită de discul compact şi de înregistrările numerice (DAT sau DCC).

g. SISTEMUL TELCOM C4

TELCOM C4 este un sistem de uz profesional, proiectat de Telefunken (acum ANT). Este un sistem cu 4 benzi, fiecare cu propriul compresor. Compresoarele folosite sunt de tip convențional: nu sunt biliniare, dar au un raport scăzut de compresie (1/1,5) şi o valoare de prag foarte scăzută. Ele pot comprima materialul într-un domeniu larg de game dinamice. Benzile utilizate sunt: 30 Hz ÷ 215 Hz, 215 Hz ÷ 1450 Hz, 1,45 kHz ÷ 4,8 kHz şi 4,8 kHz ÷ 20 kHz, fiecare bandă având propriul compresor şi propriul expandor (la redare). Sistemul Telcom C4 are, de asemenea, ca şi sistemul Dolby A, propriul ton identificator ce variază între 550 Hz şi 650 Hz. Sistemul poate oferi o îmbunătățire a raportului semnal/zgomot de aproximativ 25 dB.

Sistemul nu este foarte utilizat, el înregistrând unele succese comerciale doar în Germania, Elveția şi Danemarca, în special în studiourile de radio şi televiziune.

h. SISTEMUL DBX

Sistemele DBX, Tip I, II şi 321, sunt compresoare de bandă largă cu pantă constantă: primele două au un raport de compresie de 2:1, iar cel de-al treilea un raport de compresie de 3:1.

Tipul I este destinat sistemelor profesionale (are senzori ce operează în domeniul 22 Hz ÷ 21 kHz), iar tipul II pentru casetofoane (acționează în domeniul 30Hz ÷ 10kHz). Există şi o versiune specială a tipului II pentru disc de vinil. Ambele sisteme au un prag scăzut şi de aceea operează cu o gamă dinamică a semnalului de intrare de 100 dB, fiind capabile să producă o reducere a zgomotului de aproximativ 30 dB. Deoarece raportul de compresie este constant de-a lungul întregii game dinamice a semnalului de intrare, erorile coeficientului de amplificare dintre compresor şi expandor produc aceeaşi eroare în dB la toate nivelurile.

Sistemul DBX disponibil în casetofoane a fost folosit şi pentru codarea parțială a semnalului stereo de sunet TV în S.U.A.

Sistemul DBX 321 este un sistem profesional proiectat pentru a deservi doar legăturile analogice dintre sateliți şi a fost utilizat pentru distribuirea programelor radiodifuzate în S.U.A.

Scanned with OKEN Scanner

10.4. ÎNREGISTRAREA NUMERICĂ

10.4.1. SISTEMUL DCC

Sistemul cu casetă compactă CC a fost introdus pe piaţă in 1963 şi reprezintă cel mai de succes mediu de stocare a muzicii. Nici chiar după apariţia discurilor compacte (CD), în 1983, acest sistem nu a fost eliminat. Printre cele mai importante avantaje ale acestuia putem menţiona:

- uşurinţă de utilizare,
- gamă largă de utilizări,
- îmbunătăţirea continuă a performanţelor sistemului.

Sistemul cu casetă compactă numeric DCC (*Digital Compact Cassette*) a urmărit creşterea calităţii sunetului înregistrat, la un nivel comparabil cu cel oferit de CD şi menţinerea flexibilităţii sistemului CC, prin utilizarea înregistrării numerice. El a fost introdus pe piaţă în 1992 de către firma SONY şi reprezintă o dezvoltare a sistemului DASH multipistă [18].

DCC este o combinaţie între tehnologia sistemului CC, prelucrarea numerică a semnalelor audio şi o nouă tehnologie a capetelor magnetice. Formatul capului de înregistrare pentru caseta DCC este prezentat în figura 10.12, ansamblul combinând practic trei seturi de capete magnetice:

- un set de 9 *capete de înregistrare integrate* IRH (*Integrated Recording Heads*) pentru înregistrarea numerică,
- un set de 9 *capete magneto-rezistive* MRH pentru redarea numerică,
- un set de 2 *capete magneto-rezistive* MRH pentru redarea analogică.

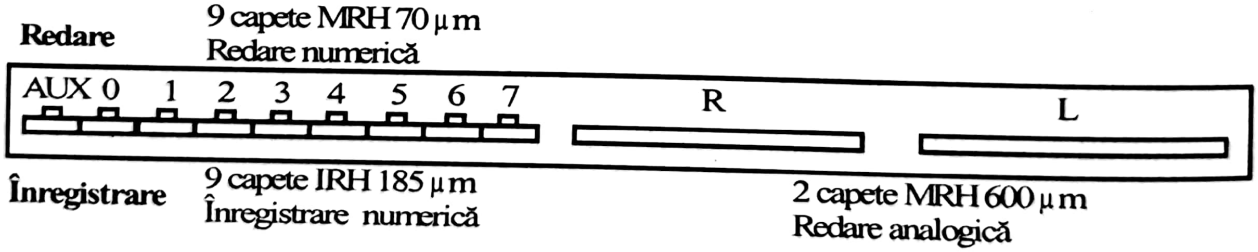


figura 10.12. Dispunerea capetelor DCC.

Observaţie. *Este important de menţionat că o bandă* ***DCC*** *are totdeauna pe cealaltă jumătate a benzii semnalele compatibile cu înregistrarea CC în aceeaşi direcţie.*

Sistemul DCC permite înregistrarea, pe lângă semnalul audio, a unor informaţii suplimentare, referitoare la programul muzical, informaţii ce pot fi afişate pe durata redării.

Schema bloc simplificată a unui sistem DCC este prezentată în figura 10.13, putând fi identificate 3 părţi importante:

Scanned with OKEN Scanner

- interfața de intrare / ieşire,
- procesorul de codare subbandă adaptivă precisă (PASC) şi
- sistemul de înregistrare / redare al benzii.

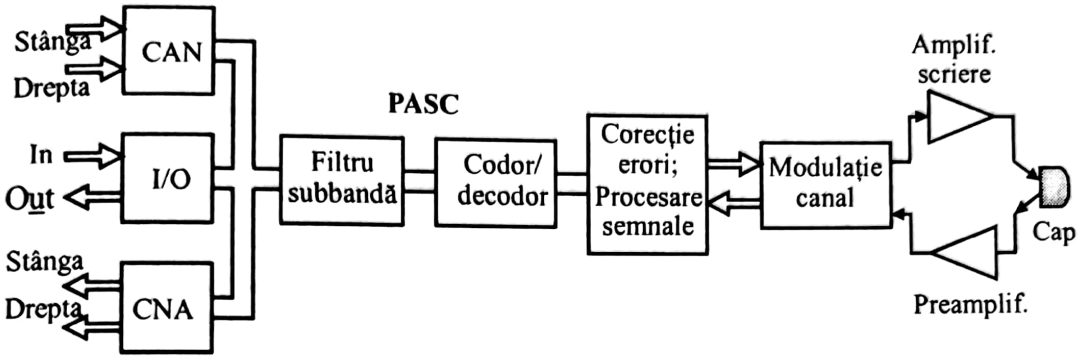


Figura 10.13. Schema bloc a unui sistem de înregistrare DCC.

La redare, semnalul numeric, provenit de la interfața de intrare, este prelucrat de codorul PASC pentru a se reduce, de aproximativ 4 ori, volumul codului sursă. Datele codate sunt apoi grupate în cadre şi înregistrate pe 8 piste paralele pe bandă. Pentru reducerea componentelor de joasă frecvență din semnalul înregistrat, se face o codare de canal. În secțiunea de conducere a benzii se adaugă semnalele de corecție a erorilor şi semnalele de sincronizare. Codurile auxiliare, ca de exemplu numărul pistelor, informația de timp sau cuprinsul casetei, se înregistrează pe o pistă separată pe bandă, la un debit mult mai scăzut.

Cele 2 elemente esențiale în realizarea sistemului DCC au fost:

- dezvoltarea algoritmului de codare subbandă adaptiv de precizie PASC, pentru reducerea debitului de biți înregistrați pe bandă, fără afectarea calității sunetului;
- realizarea, la un preț accesibil, a unui cap magnetic de scriere / citire multipistă, în tehnologia peliculelor subțiri (*thin-film*), potrivit şi pentru redarea semnalelor analogice înregistrate cu sistemul CC.

Tehnica de codare subbandă adaptivă de precizie PASC (*Precision Audio Subband Coding*) asigură reducerea debitului general de biți, în condițiile păstrării calității subiective a sunetului înregistrat. Scopul algoritmului de codare este de a reduce debitul semnalului audio de aproximativ 4 ori, până la 384 kbiți/s, cât este prevăzut în standardul sistemului DCC.

a. FORMATUL DATELOR DCC

Pe bandă se înregistrează două tipuri de date:

- datele principale (semnalul PASC şi informațiile de sistem), pe 8 piste magnetice;
- datele secundare, pe o pistă auxiliară, situată în partea de sus a benzii.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Formatul şi tipul de modulare al acestor canale sunt identice. Structura elementară a datelor este *simbolul*, a cărui dimensiune este dată de codarea de canal (vezi paragraful 8.4).

Semnalul PASC este format dintr-o succesiune de cadre. Fiecare cadru conţine 12 eşantioane ale fiecărei subbenzi, pentru cele două canalele stereo (în total: 32 × 12 = 384 de eşantioane).

Cadrul cuprinde următoarele elemente:

- o *structură de sincronizare*;
- *informaţia de alocare* pentru cele 32 de subbenzi ale canalului stânga şi dreapta; aceasta este transferată ca o valoare pe 4 biţi (în total 2 × 4 × 32 = 256 biţi) şi exprimă numărul de biţi folosiţi pentru codarea mantisei; valoarea "0" indică neincluderea subbenzii respective, considerată a fi goală, ceea ce înseamnă că media puterilor vârfurilor subbenzii a fost sub pragul de mascare;
- *factorii de scală* pentru toate subbenzile folosite (maxim 2 × 32 × 6 = 384 biţi);
- *12 eşantioane ale fiecărei subbenzi* utilizate, cu lungimea variind între 2 şi 15 biţi;
- *biţii adiţionali de "0"*, pentru ajustarea frecvenţei cadrelor PASC la $F_S/384$.

Pentru un spectru audio complex devine importantă prioritatea de alocare a biţilor. Pentru fiecare cadru PASC este disponibil doar un număr limitat de biţi. Numărul de biţi necesari pentru fiecare subbandă se estimează din raportul dintre puterea de vârf şi nivelul de putere de mascare calculat. La început se alocă biţii pentru subbenzile cu cel mai mare număr de biţi necesari. Dacă este nevoie de o arbitrare a alocării, subbenzile de frecvenţă mai joasă au prioritate faţă de cele de frecvenţă mai ridicată [26].

Durata unui cadru PASC depinde de frecvenţa de eşantionare ($F_S/384$). Pentru frecvenţele de eşantionare de 32 kHz, 44,1 kHz şi 48 kHz, lungimea variază între 12 şi 8 ms.

Practic semnalul se înregistrează sub forma unei piste de date ce cuprinde informaţia audio şi o pista auxiliară. Pista auxiliară este utilizată pentru adăugarea informaţiilor referitoare la timp, a informaţiei suplimentare sub formă de text sau a semnalelor de control necesare utilizatorului (se poate introduce, de asemenea, şi un cod de protecţie la copiere) şi poate fi citită independent.

b. CASETA DCC

Caseta pentru DCC este o dezvoltare a sistemului cu casetă compactă analogică CC. În scopul păstrării compatibilităţii, la noul tip de casetă s-au păstrat:

- dimensiunea benzii de 3,78 mm,
- viteza de deplasare a benzii de 4,76 m/s,
- dimensiunile casetei identice cu cele ale casetei analogice clasice.

Diferenţele între cele două casete sunt:

- la DCC se adaugă un capac (*slider*) pentru protecția benzii împotriva prafului şi a amprentelor numerice; deci, încărcătorul de casetă al sistemului DCC trebuie să fie prevăzut cu un deschizător al capacului casetei, ca la magnetoscop;
- la DCC grosimea casetei este redusă față de CC, prin utilizarea unor suprafețe plane pentru fețele casetei; înălțimea maximă este redusă de la 12,1 la 9,6 mm;
- în partea de jos a casetei DCC sunt realizate doar 2 orificii de acces pentru role (*reel hubs*);
- caseta DCC este prevăzută cu mecanisme de blocare a rolelor cu bandă (*hub locks*): atunci când capacul casetei este închis, rolele cu bandă sunt blocate;
- la DCC este necesar, în mod obligatoriu, un mecanism de întoarcere automată (*autoreverse*) pentru redarea ambelor fețe ale casetei;
- unul din orificiile de referință prevăzute la caseta DCC are rolul de a evita introducerea acesteia în mecanismele sistemului CC;
- caseta DCC are orificii pentru determinarea lungimii benzii şi pentru detecția casetelor preînregistrate (lungimea benzii poate varia între 45 şi 120 minute în paşi de un sfert de oră); caseta mai are în plus un orificiu pentru un comutator mecanic de protecție la înregistrare.

10.4.2. SISTEMUL AUDIO NUMERIC DAT

Cea de-a doua soluție pentru înregistrarea informației audio numerice o constituie înregistrarea elicoidală. Ideea de a înregistra informația audio similar informației video este mai veche. Sistemul, numit DAT (*Digital Audio Tape*) sau R-DAT (*Rotary head - Digital Audio Tape*), se bazează pe principiul capetelor rotative, utilizat de video-recordere (figura 10.14), scopul inițial fiind acela al înlocuirii casetei analogice.

Multe din elementele DAT folosesc cunoştințele acumulate în dezvoltarea altor sisteme de înregistrare audio numerice - seriile PCM-1, PCM-F1 şi PCM-1600 (audio-numeric pe sisteme video), formatul DASH (*multitrack digital audio-tape machine format*) -, precum şi a tehnologiei video pe 8 mm şi a compact-discului CD.

Formatul DAT a fost imediat acceptat de studiourile semi - profesionale. Ele au sesizat avantajele acestui produs ieftin, care permitea înregistrarea audio numerică pe 2 canale, cu o cuantizare de 16 biți. În prezent, majoritatea studiourilor de producție de film şi a studiourilor TV folosesc aparate DAT pentru producția sunetului, pentru stocarea materialelor audio sau ca medii numerice de transfer.

Datorită capacității mari de stocare a datelor (aproximativ 1,3 Gocteți pe o bandă de 2 ore) în raport cu dimensiunile şi costurile casetei, mulți producători de computere oferă sisteme DAT în locul hard-disk-urilor. Alte aplicații sunt reprezentate de DAW (*Digital Audio Workstations*), de echipamentele de intrare radio,

Scanned with OKEN Scanner

monitorizarea datelor multicanal (DAT oferă posibilitatea de a se înregistra până la 16 canale analogice cu lățime de bandă audio foarte mică).

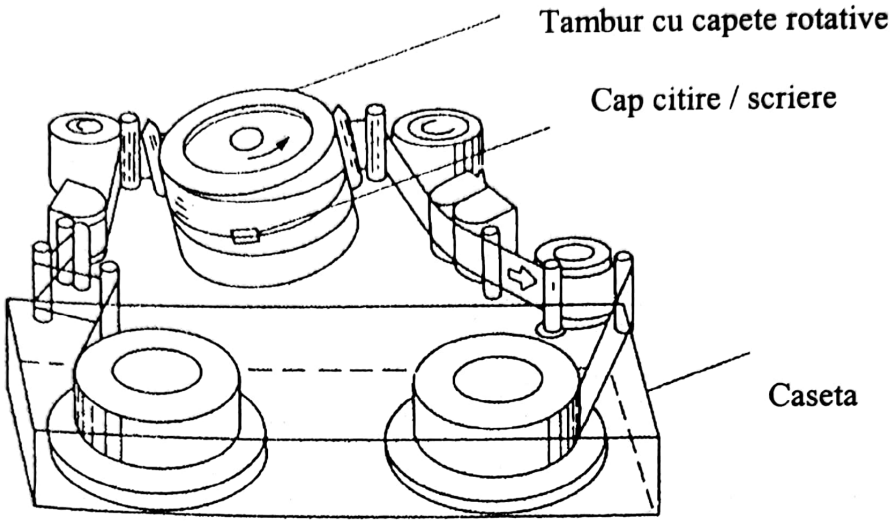


Figura 10.14. Sisteme de înregistrare cu capete rotative.

Deşi aparatele folosite în aplicaţii ca cele menţionate mai sus nu sunt identice cu cele folosite în studiourile de înregistrări sau cu cele destinate pieței largi, structurile de transport şi cele de control folosite sunt identice.

Sistemul mecanic de transport al benzii este asemănător cu cel utilizat la înregistrarea video cu excepția dimensiunilor, care la DAT sunt cu aproximativ 50% mai mici. Prin urmare, multe din dezavantajele şi problemele mecanice ce apar la magnetoscop se păstrează şi la DAT [26].

Una din principalele deosebiri față de magnetoscop a sistemului DAT constă în unghiul de înfăşurare al benzii în jurul tamburului cu capete rotative, care derivă din faptul ca semnalul audio este compresat în timp.

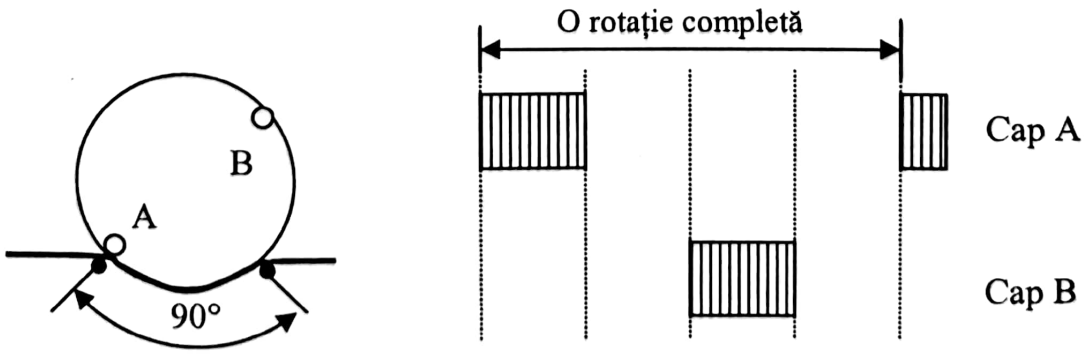


Figura 10.15. Unghiul de înfăşurare al benzii la DAT şi duratele de activitate pentru capetele magnetice.

Scanned with OKEN Scanner

Pe lângă aceasta mai pot fi evidențiate următoarele deosebiri:

- eliminarea pistei de urmărire; în acest caz, controlul urmăririi pistei este asigurat de un *semnal de căutare automată* ATF (*Automatic Track Finding*), înregistrat pe fiecare pistă elicoidală de pe bandă;
- ştergerea informației de pe bandă se face prin suprascriere;
- DAT poate insera, în înregistrări, date subcod, chiar şi după ce s-au înregistrat datele audio PCM, deoarece nu se folosesc capete de ştergere a întregii piste ca la magnetoscoape.

Standardul DAT specifică 3 frecvențe de eşantionare: 48 kHz, care este şi cea mai utilizată, 44,1 kHz frecvență, similară cu cea utilizată la CD, care este folosită doar la redarea benzilor preînregistrate şi 32 kHz, care este opțională. În toate aceste cazuri numărul biților utilizați la cuantizare este de 16, existând opțional posibilitatea utilizării de 12 biți la înregistrare cu turație redusă a tamburului (long-play).

Specificațiile standardului DAT *Tabelul 10.1*

Mod	**Înregistrare / redare**				**Numai redare**	
Variante DAT	Standard	Opțiunea 1	Opțiunea 2	Opțiunea 3	Pistă normală	Pistă lată
Tip bandă	**Particule metalice**				cobalt	ferită bariu
Nr. canale	2			4	2	
Fr. de eşantionare	48 kHz	32 kHz		32 kHz	44,1 kHz	
Nr. biți de cuantizare	16		12		16	
Durata casetei	2h		4h	2h	2h	80 min.
Viteză bandă [mm/s]	8,15		4,075	8,15	8,15	12,225
Viteza bandă/cap	3,133 m/s					
Fr. audio maximă	22 kHz	15 kHz			20 kHz	
Lățime pistă	13,6µm				20,41µm	
Turație tambur (rpm)	2000		1000	2000	2000	
Aplicații posibile	Înregistrări analogice	DAB şi DBS	Înregistrare lungă	Înregistrare pe 4 canale	Benzi preînreg. în timp real	Benzi imprimate prin contact

În tabelul 10.1 sunt sintetizate principalele specificații ale sistemului DAT pentru diferitele variante standardizate. Casetele preînregistrate, disponibile la ora actuală, sunt produse în timp real, folosind standardul pistelor normale. Standardul pistelor late (*wide track tape standard*) a fost dezvoltat pentru imprimarea prin contact

Scanned with OKEN Scanner

la mare viteză. Opțiunile 1 și 2 sunt folosite doar pentru intrări numerice. Opțiunea 3 (înregistrare pe 4 piste) nu a fost încă implementată de nici un producător.

a. FORMATUL PISTEI DAT

Pista DAT, prezentată în figura 10.16, are următorii parametri:

- lungimea pistei L = 23,5 mm, pentru un diametru al tamburului de 30 mm;
- lățimea standard a pistei a = 13,591 μm;
- unghiul de înclinare al pistelor θ = 6° 22′ 59,5″;

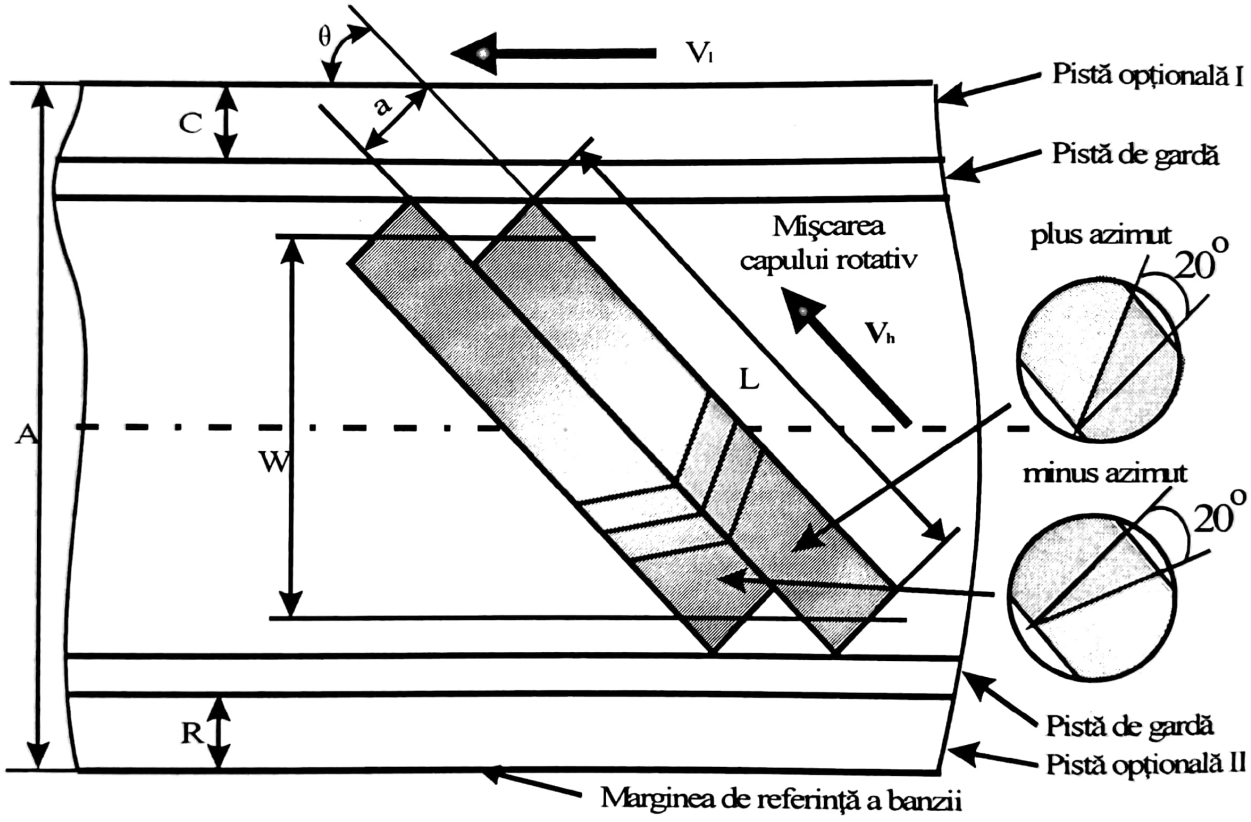


Figura 10.16. Structura simplificată a benzii DAT.

Structura pistei DAT este indicată în figura 10.17. Fiecare pistă elicoidală este divizată în 7 arii, separate de *spații interbloc* IBG (*interblock gaps*).

IFG	SUB	IFG	ATF	IFG	PCM	IFG	ATF	IFG	SUB	IFG

Figura 10.17. Formatul pistei DAT pe bandă.

Aria PCM conține informația digitală modulată (date audio și cod de eroare), fiind formată din 128 de blocuri a câte 288 de biți. Ea este separată de celelalte arii de

Scanned with OKEN Scanner

o arie IBG ("*inter-block gap*") cu lungime de 3 blocuri. La ambele capete ale ariei PCM sunt inserate două arii de urmărire a pistei ATF, fiecare cu lungime de 5 blocuri.

La capetele pistei sunt inserate arii IBG cu lungimea de 8 blocuri, care separă ariile ATF de ariile subcod SUB1 şi SUB2, ce conţin toate informaţiile privitoare la conţinutul benzii (codul de timp etc.). Prin urmare, informaţiile PCM şi subcod pot fi suprascrise independent, fără interferenţă cu ariile înconjurătoare, fiind înregistrate succesiv de-a lungul pistei.

Capacitatea subcodului DAT este de 4 ori mai mare decât la compact-disc. Pentru benzile preînregistrate este specificat un format subcod, similar cu cel folosit la compact-disc.

Cei mai importanţi biţi de control, cum sunt biţii de control a frecvenţei de eşantionare şi biţii de inhibare a copierii, sunt înregistraţi în aria PCM-ID. Astfel, este imposibil ca aceşti biţi să fie rescrişi, fără a rescrie toţi biţii de date PCM. Cum datele PCM sunt protejate de procesul principal de corecţie a erorilor, aici pot fi stocate şi subcodurile ce necesită un grad ridicat de siguranţă.

Datele pentru acces rapid, pentru numărul de program, cod de timp etc. sunt înregistrate în ariile subcod (SUB-1 şi SUB-2), care sunt localizate la ambele capete ale pistelor elicoidale. Toate ariile subcod sunt identice.

În sistemul DAT nu este prevăzută nici o pistă de control. Pentru a se asigura urmărirea corectă a benzii pe durata redării se înregistrează, o dată cu datele numerice, un semnal de *găsire automată a pistei* ATF (*Automatic Track Finding*). Semnalele ATF sunt folosite la poziţionarea corectă a capetelor rotative pe pistele înregistrate, prin controlarea vitezei benzii. Ele sunt formate din două seturi de semnale multifrecvenţă, plasate pe fiecare pistă, imediat înainte sau imediat după datele PCM.

Semnalele ATF sunt deosebit de importante pe banda DAT. Fără ele nici o bandă DAT nu poate fi redată corect.

b. CASETA DAT

Designul casetei DAT este mai apropiat de cel al casetei video decât de cel al CC. Ea este o structură închisă, protejată de praf şi de contactul cu mâinile utilizatorilor. Ca şi banda video, bobinele cu bandă sunt blocate când capacul casetei este închis în timpul scoaterii casetei din aparat. Un element distinct al casetei DAT este învelişul care acoperă bobinele când caseta este scoasă din aparat. Dimensiunile casetei sunt 73 x 54 x 10,5 mm, iar greutatea de aproximativ 20 g. Cutia casetei DAT are 5 orificii pentru:

- identificarea tipului casetei,
- identificarea tipului benzii (bandă groasă de 13μm sau bandă subţire),
- stabilirea vitezei de deplasare a benzii, corespunzătoare diferitelor variante,
- detectarea benzilor preînregistrate,
- protecţie la scriere.

Scanned with OKEN Scanner

Configurația casetei DAT normale este cu toate orificiile obturate.

Încărcarea şi descărcarea benzii la DAT se realizează ca la magnetoscop: un mecanism de încărcare este folosit pentru deschiderea casetei şi menținerea ei pe poziție. Elementele de ghidare trag banda afară din casetă şi o înfăşoară pe tambur (figura 10.18).

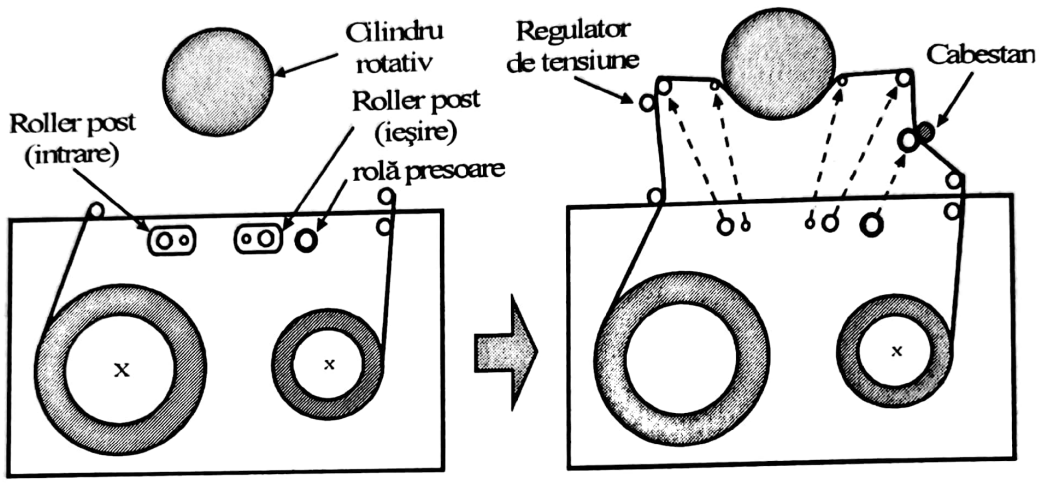


Figura 10.18. Încărcarea benzii pe traseul de transport la DAT.

Pentru tractarea benzii se foloseşte un sistem cabestan-rolă presoare. În timpul redării turația cabestanului este controlată de un sistem de reglare automată, acționat de semnalele ATF înregistrate pe bandă, astfel încât să asigure o deplasare cu viteză constantă a benzii. Deoarece informația numerică este citită de pe bandă cu ajutorul unor circuite cu bucle PLL şi turația cabestanului este permanent controlată atât la redare cât şi la înregistrare, distorsiunile de tip *wow* şi *flutter* sunt practic inexistente la sistemul DAT.

Banda DAT este o bandă cu granulație fină, cu particule de metal cu o coercitivitate de minim 1500 Oerstad (comparativ cu 400 Oerstad pentru casetele CC şi cu 800 Oerstad pentru benzile U-matic). Unii producători au depăşit această valoare, oferind benzi cu o coercitivitate de 1650 Oe, sau chiar mai mare.

Lățimea benzii este identică cu cea a CC, adică de 3,82 mm, însă caseta DAT este doar 47% din dimensiunea casetei CC. Acest fapt este datorat materialului de bază mult mai subțire folosit la realizarea benzii.

Viteza normală de deplasare a benzii este de 8,15mm/s. La viteză aşa de mică de deplasare, există suficient loc în carcasă pentru a se asigura 2h şi 20 min. de program audio. Standardul prevede durate ale casetei de 120 min., 90 min., 60 min., 46 min., 30 min. şi 16 min.

La capetele benzii există câte o porțiune transparentă de bandă, pentru

Scanned with OKEN Scanner

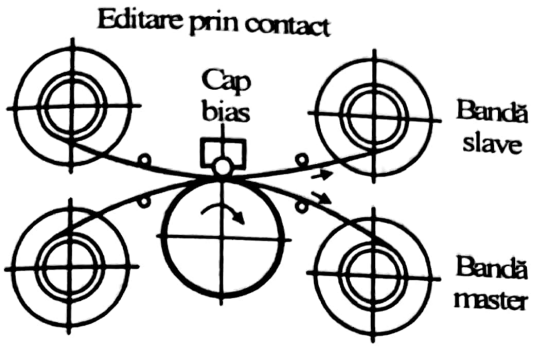


Figura 10.19. Procesul de înregistrare rapidă a DAT.

pe un casetofon special;

- suprafețele magnetice ale benzii master și benzii pe care se copiază sunt puse în contact pe o mașină de imprimat (figura 10.19); controlând, pentru ambele benzi, presiunea dintre tamburul de presiune și capul de influență, se realizează procesul de magnetizare. În proces sunt necesare benzi și capete de influență speciale.

început și de sfârșit de pe benzi înregistrate cu aparate ce folosesc diferite metode de detecție a sfârșitului de bandă.

Pentru benzile DAT există posibilitatea multiplicării rapide folosind tehnica contactului magnetic. Etapele procesului de multiplicare sunt:

- se produce o bandă master oglindă

10.4.3. SISTEMUL DAT FĂRĂ URMĂRIRE - NT-DAT

Sistemul NT-DAT (*Non-Tracking Digital Audio Tape*) este o îmbunătățire a primului sistem DAT. Avantajul principal constă în rezistența sa la vibrații, ceea ce îl recomandă pentru aparatura portabilă sau auto. Tehnologia NT-DAT se folosește și la realizarea de variante miniaturale (*stamp-size* DAT *player*), caz în care se face și înregistrare cu metoda NT-DAT.

Specificațiile originale DAT sunt determinate de faptul că fiecare cap de redare și înregistrare are propriul azimut și trebuie să urmărească centrat pista de date corespunzătoare. De aici rezultă necesitatea sistemului de urmărire ATF. În prezența vibrațiilor, capul poate pierde pista, fără a exista posibilitatea refacerii imediate a poziționării. Rezultă astfel pierderi importante de informație audio.

Sistemul NT-DAT nu folosește nici un sistem de urmărire a pistei, suplinindu-l printr-o scanare dublă-densitate și prin creșterea capacității de prelucrare și a celei de memorare.

Există și un sistem DAT miniatural (*NT stamp-size*), dimensiunile casetei sunt de 30 mm x 5 mm, iar greutatea de 2,8 g. Sistemul se mai numește ***Scoopman***.

În tabelul 10.2 sunt indicate specificațiile generale ale formatului NT.

Spre deosebire de sistemul DAT convențional, varianta miniaturală (*stamp-size*) este bidirecțională. Pistele sunt divizate în două jumătăți: cea superioară și cea inferioară. În viitor va fi posibilă utilizarea unui mecanism cu întoarcere automată (*auto-reverse*), care, combinat cu o capacitate de memorare superioară, va permite funcționarea continuă, fără întreruperi a aparatului.

Toate celelalte sisteme de înregistrare / redare cu tambur țineau cont de faptul că banda urma să fie scoasă din casetă și înfășurată în jurul acestuia. La sistemul NT

tehnica este inversată: tamburul este cel care intră în casetă. Această soluție permite un design mai simplu, mai mic şi mai ieftin, deoarece sistemul de încărcare a benzii este foarte simplu.

Specificațiile generale ale sistemului NT-DAT *Tabelul 10.2*

Format înregistrare	2 capete rotative, scanare elicoidală, înregistrare cu azimut
Lățime bandă	2,5 mm
Viteză bandă	6,35 mm/s
Diametru tambur	14,8 mm
Unghi de înfăşurare pe tambur	100° (unghi de înfăşurare mecanic)
Frecvență cadre	50 Hz
Turație tambur	50 Hz (scanare dublă-densitate) = 3000 rpm
Viteză relativă cap	≅ 2,3 mm/s (scanare dublă-densitate)
Lățime pistă	≅ 9,8 μm/s
Unghi fix	≅ 4,4
Canale intrare	2 canale stereo
Frecvență eşantionare	32 kHz
Cuantizare	12 biți neliniar (echivalent cu 17 biți)
Corecție erori	Cod CIRC
Redundanță	33% (inclusiv cuvinte sincronizare, adrese)
Modulație	Modulație cu deviație mică LDM-2
Capacitate maximă de înregistrare	≅ 690 octeți

Una din principalele deosebiri care rezultă este că majoritatea mecanicii, care la celelalte sisteme se construia în interiorul aparatului, se realizează acum în interiorul fiecărei casete. Astfel, fiecare casetă are în interior o rolă presoare, care atunci când tamburul este introdus în casetă presează cabestanul, montat pe aceeaşi platformă cu tamburul şi cu sistemele de ghidare a benzii. Introducerea tamburului în casetă se poate face atât manual, cât şi automat.

10.4.4. SISTEMUL SCOOPMAN FĂRĂ URMĂRIRE

În scopul obținerii unei citiri corecte de pe o bandă atât de mică, s-a folosit metoda fără urmărire şi o bandă specială (metal evaporat) care să asigure o mare densitate de înregistrare şi un nivel scăzut de zgomot. Viteza tamburului a fost stabilită la 3000 rpm, iar capul magnetic se deplasează liber pe bandă.

Parametrii sistemului Scoopman sunt sintetizați în tabelul 10.3.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul10.3 Parametrii sistemului Scoopman.

Răspuns în frecvenţă	10 – 14500 Hz (+1dB, -3dB)
Gama dinamică	> 80 dB
Raport semnal/zgomot	> 80 dB
Distorsiuni totale	< 0,05%
Distorsiuni *wow* şi *flutter*	< limitele măsurabile (precizie cuarţ)
Dimensiuni	115 mm x 50 mm x 21 mm
Greutate	138 g (inclusiv baterii şi casetă)

10.4.5. SISTEME DE ÎNREGISTRARE PSEUDO-VIDEO

În condiţiile în care datele digitale sunt codate pentru a forma un semnal video, cunoscut sub denumirea de semnal complex digital, atunci se poate realiza o înregistrare pe o caseta standard video [45]. Înregistrări audio numerice pe sisteme video s-au realizat pentru standardele 8 mm, 1 inch şi U-matic. De asemenea, s-au construit sisteme audio digitale utilizând numai sistemul de transport de la magnetoscoape, folosind în locul modulaţiei în frecvenţă analogice o înregistrare numerică. Echipamentul construit special de firma Decca intră în aceasta categorie.

Practic, în aceste condiţii, se realizează o adaptare a datelor PCM prin transformarea acestora într-un semnal pseudo-video. Schema bloc a unui astfel de adaptor este prezentată în figura 10.20.

Cel mai important bloc este cel de sincronizare şi generare a impulsurilor de sincronizare, care produce impulsurile de sincronizare pentru controlul semnalului video şi generează frecvenţa de eşantionare, precum şi semnalul pentru codul de timp. Un exemplu de astfel de instalaţie este Sony PCM 1610/1630, care a fost proiectată să utilizeze caseta U-matic pentru a înregistra semnalul matriţă pentru sistemul CD. Sistemul lucrează în strânsă legătură cu standardul 525/60 întrucât, aşa cum am văzut, frecvenţa de eşantionare pentru CD a fost aleasă în aşa fel încât să fie compatibilă cu ambele standarde. O linie pseudo-video utilizată în sistemele PCM 1616 este prezentată în figura 10.21.

Un alt sistem pentru crearea matriţei CD este sistemul JVC, care de asemenea a fost construit pentru compatibilitate internaţionala, dar care lucrează pe sistemul TV 525/60.

Pentru uzul în sistemele ne-profesionale a fost stabilit standardul EIAJ, ce utilizează frecvenţa de 44,0559 kHz în combinaţie cu sistemul 525/60 şi frecvenţa de 44,1 kHz în combinaţie cu sistemul 625/50. Acest sistem realizează o înregistrare stereo utilizând cuantizarea liniară pe 14 biţi. Un alt sistem de uz general a fost creat de Sony, şi anume PCM-F1.

Scanned with OKEN Scanner

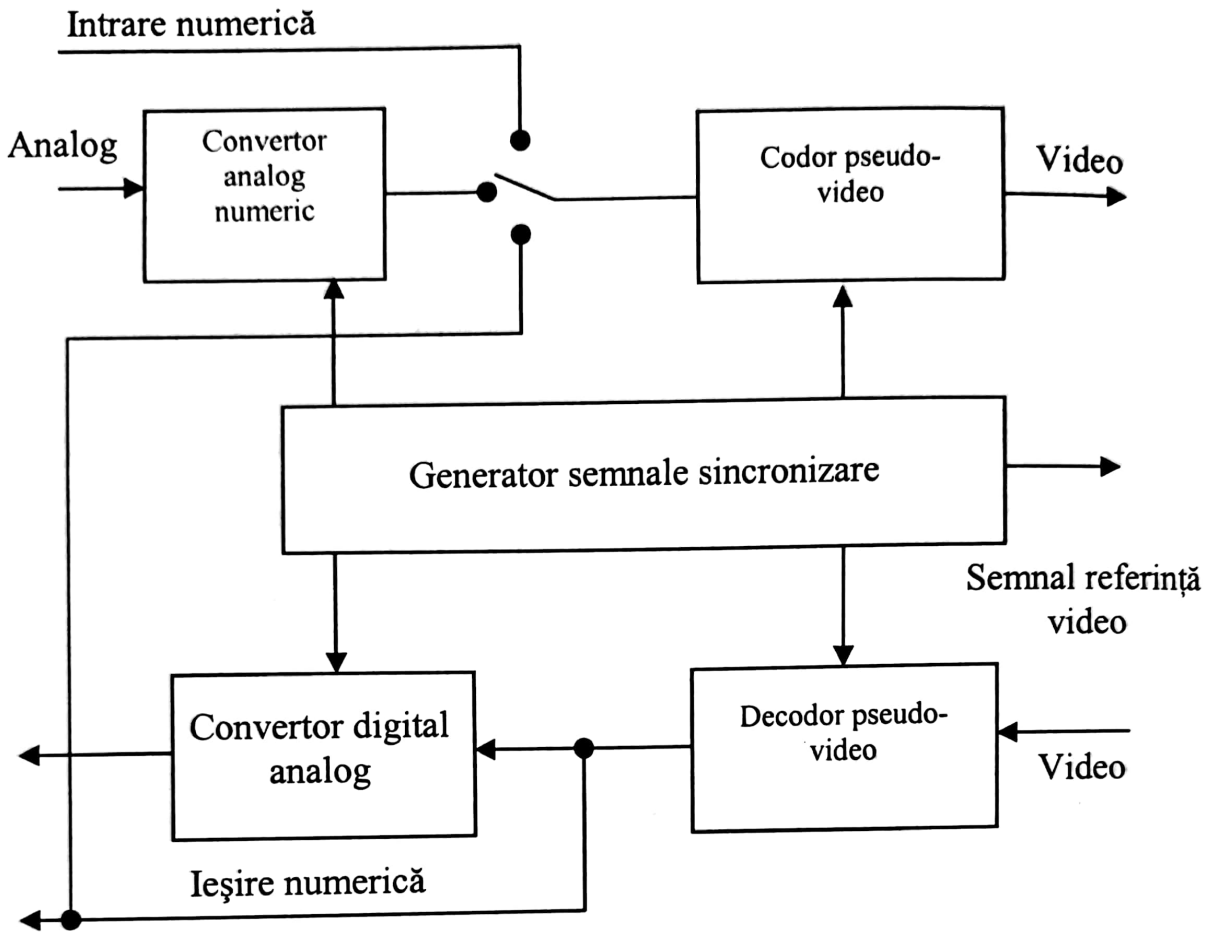


Figura 10.20. Schema bloc a adaptorului PCM.

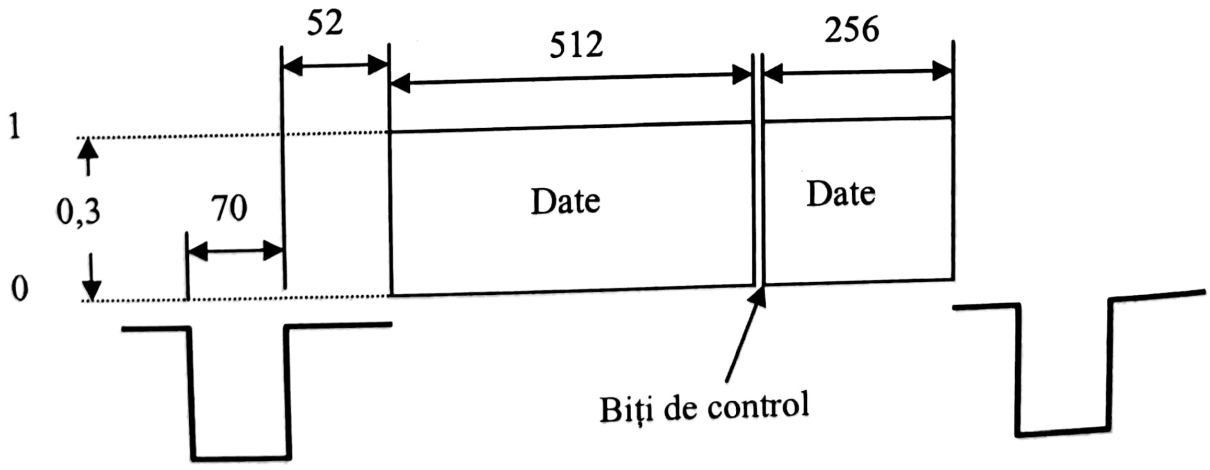


Figura 10.21. Linia video specifică sistemului PCM 1610.

Scanned with OKEN Scanner

10.4.6. SISTEMUL DECCA

Spre deosebire de formatele descrise anterior, care utilizează un semnal video a cărui formă este virtual nemodificată, sistemele de înregistrare numerică a sunetului dezvoltate de Decca, pentru obținerea matrițelor în cazul discurilor de vinilin şi a celor compacte, utilizează numai mecanismul de transport al sistemelor video de 1 inch, realizând o înregistrare pe piste diagonale utilizând codul de canal Miller. Formatul de înregistrare diferă foarte mult de cele prezentate deoarece, în cazul sistemului Decca, eşantioanele de 16 biți sunt divizate în cuvinte de cod de opt biți, care sunt apoi transformate în cuvinte de cod de 18 biți prin adăugarea unui bit de zero şi a nouă biți redundanți capabili să corecteze două erori şi să detecteze trei.

10.4.7. SISTEMUL 8 MM VTR

Acest sistem poate fi utilizat pentru înregistrarea semnalului audio în format PCM. Utilizarea capetelor video pentru înregistrarea semnalului audio conduce la micşorarea consumului de bandă. Dacă se doreşte înregistrarea unui semnal audio corespunzător unui semnal video, atunci este necesară mărirea lungimii benzii ce este în contact cu tamburul cu capete rotative. Acest lucru se realizează prin înfăşurarea suplimentara a benzii cu 31° în jurul tamburului (figura 10.22).

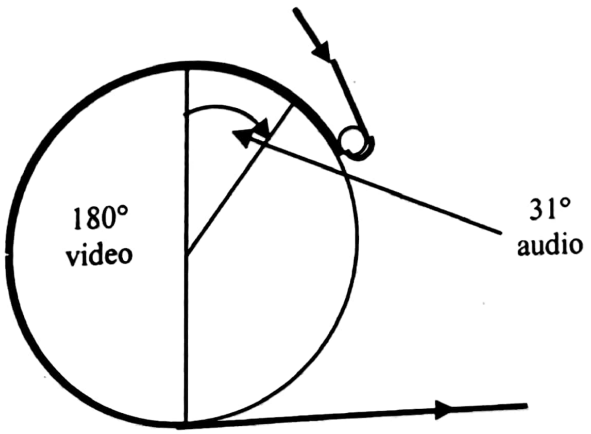


Figura 10.22. Înfăşurarea benzii pe tamburul cu capete video la sistemul 8 mm.

Structura pistei în condițiile înregistrării unui semnal numeric este prezentată în figura 10.23.

Întrucât informația audio este înregistrată pe o lungime echivalentă cu înfăşurarea benzii pe 31°, este necesară comprimarea acesteia, în acest scop utilizându-se aceeaşi metodă ca şi în cazul sistemului DAT. În acest fel este posibilă şi înregistrarea multipistă numai a semnalului audio. În acest caz fiecare segment audio este amplasat pe o pistă pe o lungime echivalentă cu 36°. Înregistrarea se realizează pe fiecare pistă până se ajunge la sfârşitul benzii, după care banda este

Scanned with OKEN Scanner

antrenată în direcţie inversă, înregistrarea continuându-se pe următoarea pistă. Astfel se înregistrează şase piste pe o bandă de 8 mm (figura 10.24).

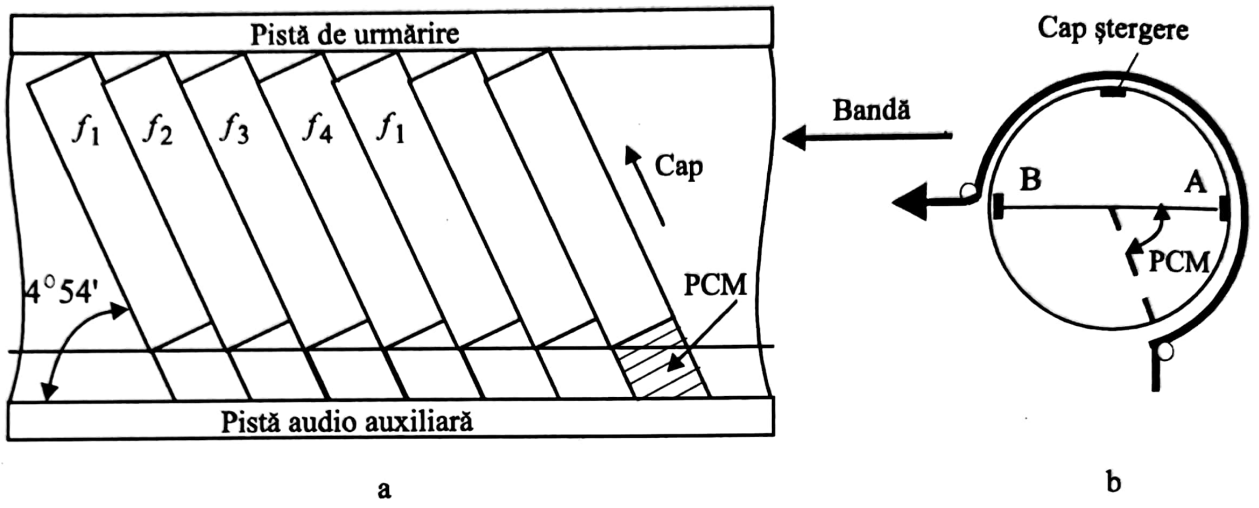


Figura 10.23. Înregistrarea semnalului audio numeric pe banda de 8 mm.

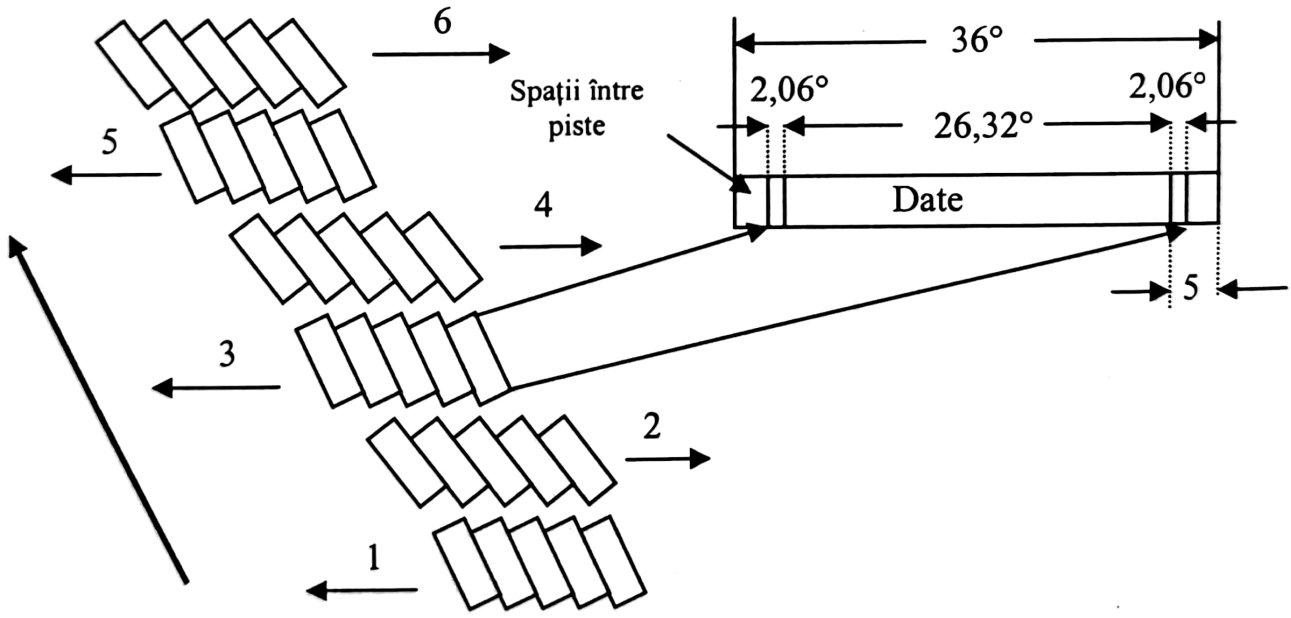


Figura 10.24. Semnalul înregistrat pe banda de 8 mm în format audio numeric.

Fiecare segment de date înregistrat are cuvinte de identificare a începutului şi sfârşitului acestuia.

10.4.8. SISTEME VIDEO DIGITALE

Sistemele de înregistrare video numerice, la fel ca şi cele analogice, pot fi împărţite în două categorii, şi anume: sisteme bazate pe semnale componente şi

Scanned with OKEN Scanner

sisteme bazate pe semnal complex. Schema bloc de principiu a unui sistem video de înregistrare numerică este prezentată în figura 10.25.

În cazul înregistrărilor video numerice pe baza semnalelor componente, cele două standarde PAL şi NTSC lucrează cu aceeaşi frecvenţă, în timp ce pentru înregistrările pe baza semnalului complex, pentru semnalul PAL frecvenţa de eşantionare este cu aproximativ 25 % mai mare datorită diferenţelor dintre frecvenţele subpurtătoarelor. În cazul formatului de înregistrare D-3 dezvoltat de firma Panasonic, structura semnalului înregistrat pe banda magnetică este prezentat în figura 10.26.

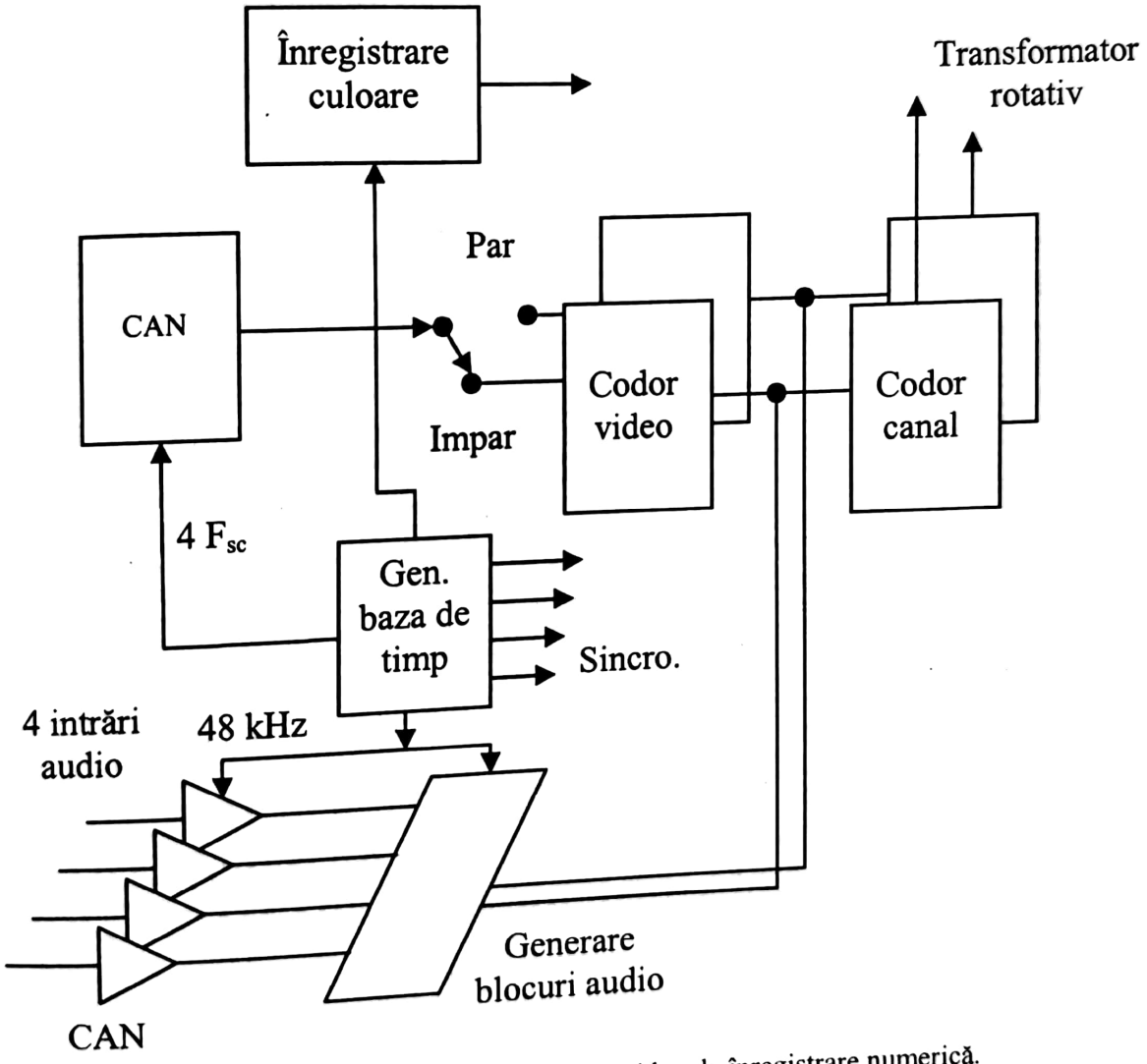


Figura 10.25. Schema bloc a sistemului video de înregistrare numerică.

Sistemul D-3 utilizează o redundanţa de 100 %, dar fără dublarea înregistrării. Dublarea cantităţii de biţi de înregistrare se realizează prin utilizarea codării Reed-Solomon. La fel ca la toate formatele, canalele audio sunt înregistrate independent, iar datele sunt codate prin întreţesere.

Scanned with OKEN Scanner

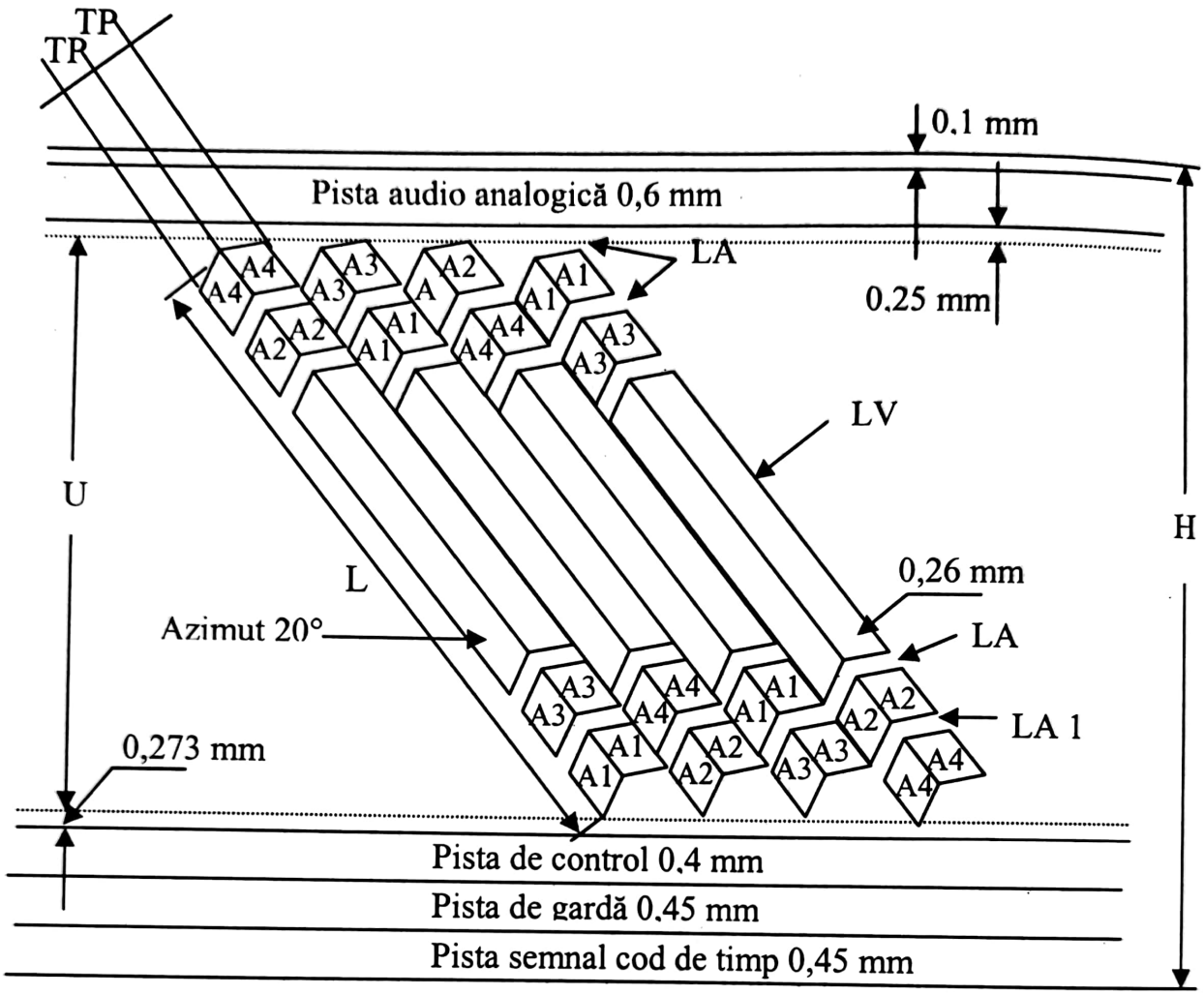


Figura 10.26. Structura semnalului înregistrat pe bandă în cazul sistemului video numeric D-3.

10.4.9. COMPARAȚIE ÎNTRE SISTEMELE DE ÎNREGISTRARE A SEMNALULUI AUDIO NUMERIC PE BANDĂ MAGNETICĂ

În tabelul 10.4 este prezentată o comparație între specificațiile sistemelor DAT, 8-mm VTR şi DCC.

10.4.10. DISCURI MAGNETICE

Sistemele de discuri rigide - sunt constituite în principiu dintr-o stivă de discuri montate pe un ax rotativ, închise într-o incintă pentru a preveni contaminarea cu impurități. Scrierea şi citirea se realizează cu un grup de capete mobile prevăzute cu o suspensie elastică şi atașate la un braț. Fiecare dintre ele este montat pe o lamelă, care este încărcată din când în când pe suprafața discului. La interfața între lamelă şi

Scanned with OKEN Scanner

disc se generează, prin rotaţia discurilor, un mic curent hidrodinamic care realizează un spaţiu mic, dar stabil, între capete şi disc. Braţul capului este conectat pe un ax comun ce este poziţionat cu ajutorul unui dispozitiv de conducere electromagnetic care determină accesul la orice pistă dorită de pe disc.

Tabelul 10.4

Categorie / Articol		DAT (modul normal)	DCC	8-mm VTR (*PCM* multi-track)
Funcţie		Înregistrare / redare	Înregistrare / redare	Înregistrare / redare
Frecvenţă eşantionare		48 / 32 kHz	8 / 32 kHz	31,5 kHz
Răspuns maxim de frecvenţă		22 kHz	22 kHz	15 kHz
Număr de biţi de cuantizare		16 biţi – liniar	16 biţi - liniar	8 biţi neliniar
Debit de date transmise		2,46 Mbit/s	768 kbiţi/s	5,79 Mbit/s
Gamă dinamică		98 dB (teoretic)	> 90 dB	88 dB
Răspuns în frecvenţă		10Hz-22kHz	10Hz-22kHz	20Hz-15kHz
Distorsiuni		0,0016 %	< 0,01 %	0,5 %
Mediul		Bandă magnetică	Bandă magnetică	Bandă magnetică
Dim. mediului (% din volum CC)		73×54×10,5 mm (53%)	102×64× 9,6 mm (≈×100%)	95×62,5×15 mm (116%)
Timp înregistrare /grosime bandă		2h / 13µm	2h / 13µm	2h (ca VTR) 24h (ca deck *PCM*)
Lăţime bandă		3,81 mm	3,78 mm	8 mm
Viteza benzii		0,815 cm/s	4,76 cm/s	1,43 cm/s
Viteza relativă		3,133 m/s	4,76 cm/s	3,8 m/s
Sistem de încărcare a benzii		tambur, unghi de înfăşurare 90°	liniar prin faţa capetelor	tambur, unghi de înfăşurare 220°
Căutare	Viteză	200 ori viteza normală	50 ori viteza normală	30 ori viteza normală
	Timp	0,9 s	< 5 s	6 s

Astăzi, capetele sunt în permanenţă pe suprafaţa discului cu scopul de a îmbunătăţi alinierea acestora pe pistele înregistrate. Pentru aceste scopuri, există o dependenţă complexă între comportările capetelor şi a discurilor la diferite moduri de operare.

Scanned with OKEN Scanner

Se lucrează încă şi în prezent la perfecţionarea capetelor (reducerea întrefierului, micşorarea miezului), îmbunătăţirea proprietăţilor învelişului magnetic al discurilor, toate având ca scop final creşterea densităţii de înregistrare (îngustarea pistelor) şi reducerea costurilor.

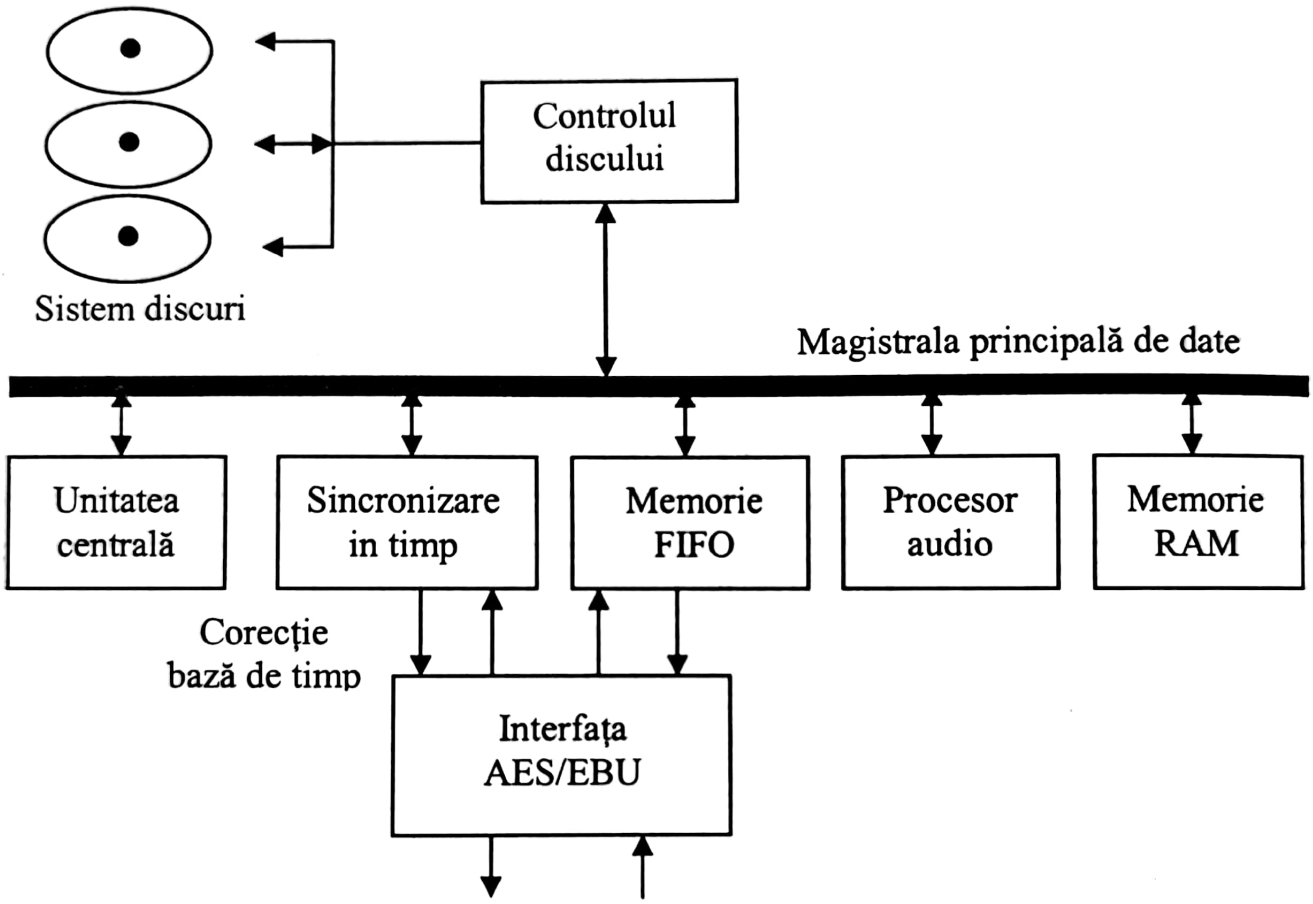


Figura 10.27. Structura principală a unui sistem audio pentru înregistrare pe discuri magnetice.

Pentru utilizarea sistemelor de discuri rigide, la stocarea datelor audio este necesar un sistem având configuraţia ca cea din figura 10.27. Deoarece fluxul de date ce se obţine la ieşire trebuie să fie constant, memoria FIFO este obligatorie. Astfel se elimină posibilitatea pierderii de informaţie sau a întreruperii fluxului de date atunci când are loc mişcarea capetelor discului de la o pistă la alta.

Sistemele de discuri utilizate în domeniul calculatoarelor, spre deosebire de discuri şi benzi magnetice, nu au o înregistrare continuă a datelor audio. Din acest motiv este foarte importantă stabilirea unei legaturi între sistemul de înregistrare şi alocarea datelor pe suprafaţa discului. În cazul în care eşantioanele semnalului audio sunt trimise către sistemul bazat pe disc rigid prin intermediul unei interfeţe sau a unui convertor, se realizează stocarea datelor mai întâi în RAM de unde sunt apoi preluate cu ajutorul DMA. Astfel, datele care sosesc de la sursă, sunt divizate în blocuri, care

Scanned with OKEN Scanner

apoi sunt stocate pe disc. Interfața transmite o informație privind codul de timp în spațiul alocat biților de stare ai canalului, care este apoi utilizat pentru crearea unei corespondențe între timpul real al secvenței audio și adresele fizice ale datelor de pe disc. Există posibilitatea înlocuirii interfeței atunci când putem transmite un cod de timp standard la intrare. Tabelul ce cuprinde adresele fizice de pe disc este înregistrat într-un fișier de pe disc, de obicei în altă zonă decât în cea în care se află fișierul audio. Acest fișier este stocat în cuprinsul discului, fiind folosit atunci când este accesat fișierul audio corespunzător.

La redare este necesară specificarea codului de timp și a fișierului audio. Sistemul va accesa fișierul din index și va începe citirea datelor ținând cont de adresele fizice înscrise. Datele sunt trimise în memoria RAM, de unde sunt citite în mod continuu. Așa cum am precizat, este necesară o memorie tampon întrucât citirea datelor fizice necesită timpi de deplasare a capetelor.

Discurile flexibile - sunt foarte simple și ușor de manipulat. Ele se rotesc cu o viteză relativ mică pentru a da posibilitatea capului de scriere-citire să acceseze informația printr-o mică fantă aflata în carcasa dischetei. Dezavantajul acestora este densitatea relativ mică de informație în comparație cu cea a discurilor rigide precum și capacitatea de stocare foarte mică.

10.4.11. DISCURILE CU CITIRE OPTICĂ

Discurile cu citire optică pot fi clasificate în trei mari grupe, care sunt prezentate în figura 10.28. Aceste discuri au caracteristici foarte diferite [26].

Principalele caracteristici ale discurilor sunt:

Discurile preimprimate (CD, CD-ROM, Video Discul, MiniDiscul preinregistrat):

- Se înregistrează o singură dată prin procedee industriale.
- Au un cost scăzut raportat la volumul de date.

Discurile înregistrabile o singură dată (WORM - *write-once-read-many* – CR-R, Foto CD):

- Se pot înregistra o singură dată.
- Se utilizează în special pentru arhivare.
- Nu pot fi multiplicate în serie mare deoarece costul este ridicat.

Discurile reinsciptibile (Discuri magneto- optice și discuri reinscriptibile):

- Pot fi utilizate pentru înregistrarea datelor (cu modularea fasciculului laser) având bandă de înregistrare mare, densitate redusă și necesitând un ciclu de ștergere.
- Pot fi utilizate pentru înregistrări audio (cu modularea câmpului magnetic) având bandă redusă, densitate mare și nu necesită ciclu de ștergere.

Scanned with OKEN Scanner

apoi sunt stocate pe disc. Interfaţa transmite o informaţie privind codul de timp în spaţiul alocat biţilor de stare ai canalului, care este apoi utilizat pentru crearea unei corespondenţe între timpul real al secvenţei audio şi adresele fizice ale datelor de pe disc. Există posibilitatea înlocuirii interfeţei atunci când putem transmite un cod de timp standard la intrare. Tabelul ce cuprinde adresele fizice de pe disc este înregistrat într-un fişier de pe disc, de obicei în altă zonă decât în cea în care se află fişierul audio. Acest fişier este stocat în cuprinsul discului, fiind folosit atunci când este accesat fişierul audio corespunzător.

La redare este necesară specificarea codului de timp şi a fişierului audio. Sistemul va accesa fişierul din index şi va începe citirea datelor ţinând cont de adresele fizice înscrise. Datele sunt trimise în memoria RAM, de unde sunt citite în mod continuu. Aşa cum am precizat, este necesară o memorie tampon întrucât citirea datelor fizice necesită timpi de deplasare a capetelor.

Discurile flexibile - sunt foarte simple şi uşor de manipulat. Ele se rotesc cu o viteză relativ mică pentru a da posibilitatea capului de scriere-citire să acceseze informaţia printr-o mică fantă aflata în carcasa dischetei. Dezavantajul acestora este densitatea relativ mică de informaţie în comparaţie cu cea a discurilor rigide precum şi capacitatea de stocare foarte mică.

10.4.11. DISCURILE CU CITIRE OPTICĂ

Discurile cu citire optică pot fi clasificate în trei mari grupe, care sunt prezentate în figura 10.28. Aceste discuri au caracteristici foarte diferite [26].

Principalele caracteristici ale discurilor sunt:

Discurile preimprimate (CD, CD-ROM, Video Discul, MiniDiscul preinregistrat):

- Se înregistrează o singură dată prin procedee industriale.
- Au un cost scăzut raportat la volumul de date.

Discurile înregistrabile o singură dată (WORM - *write-once-read-many* – CR-R, Foto CD):

- Se pot înregistra o singură dată.
- Se utilizează în special pentru arhivare.
- Nu pot fi multiplicate în serie mare deoarece costul este ridicat.

Discurile reinsciptibile (Discuri magneto- optice şi discuri reinscriptibile):

- Pot fi utilizate pentru înregistrarea datelor (cu modularea fasciculului laser) având bandă de înregistrare mare, densitate redusă şi necesitând un ciclu de ştergere.
- Pot fi utilizate pentru înregistrări audio (cu modularea câmpului magnetic) având bandă redusă, densitate mare şi nu necesită ciclu de ştergere.

Scanned with OKEN Scanner

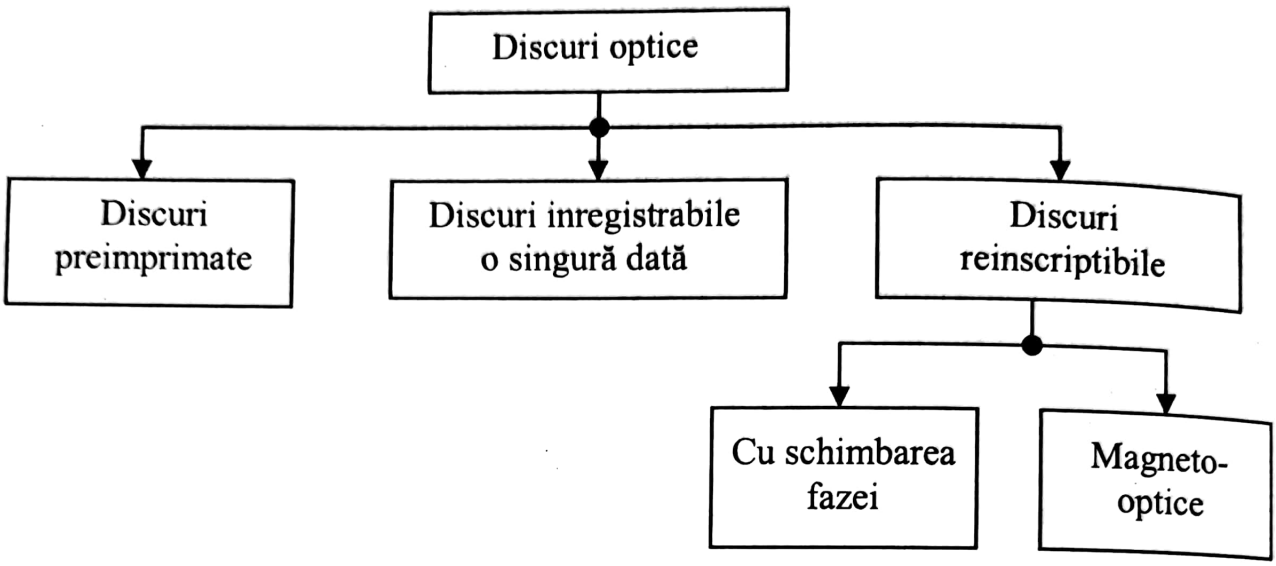


Figura 10.28. Tipuri de discuri optice.

Din punct de vedere al semnalului audio, cele mai interesante suporturi utilizate sunt CD-ul şi MiniDisc-ul.

a. SISTEMUL COMPACT DISC (CD)

Formatul CD a fost dezvoltat pentru a se realiza stocarea unei informaţii foarte mari pe un mediu având: dimensiuni reduse, robusteţe, cost scăzut şi posibilitatea multiplicării în condiţii avantajoase. Un CD audio conţine maximum 74 minute (variante pot fi până la 80 minute sau mai mult) de muzică de înaltă fidelitate pe un disc de înaltă robusteţe şi fabricaţie economică. Aparatul de redare a informaţiei de pe CD are acces aleator la orice porţiune a programului audio într-o secundă sau mai puţin, în plus putând avea multe alte trăsaturi convenabile utilizatorului. Formatul este foarte bine adaptat cerinţelor stocării audio. Impactul asupra stocării numerice şi câştigul obţinute de compact disc au avut ca rezultat un mediu de stocare de o capacitate foarte mare, durabilitate şi flexibilitate. Astfel, compact discul este foarte avantajos de utilizat şi în foarte multe aplicaţii neaudio. Ca rezultat, au fost dezvoltate un număr mare de aplicaţii având ca alternativă compact discul.

Programul ce se vrea înregistrat şi reprodus este mai întâi transformat în semnal numeric, după care este stocat în aceasta formă pe compact disc sau bandă magnetică. După mixare şi editare, banda este pregătită să fie reprodusă pe CD. Realizarea discului presupune conversia benzii magnetice într-un CD principal, după care se realizează mai multe copii.

Parametrii standardizaţi ai CD sunt prezentaţi în tabelul 10.5 şi au fost stabiliţi prin eforturile reunite ale firmelor Philips şi Sony, definindu-se documentul standard Red Book. Standardul CD este cuprins în IEC (Comisia internationala de Electrotehnica) ca standardul BNN 15-83-095-Sistemul audio digital compact disc.

Scanned with OKEN Scanner

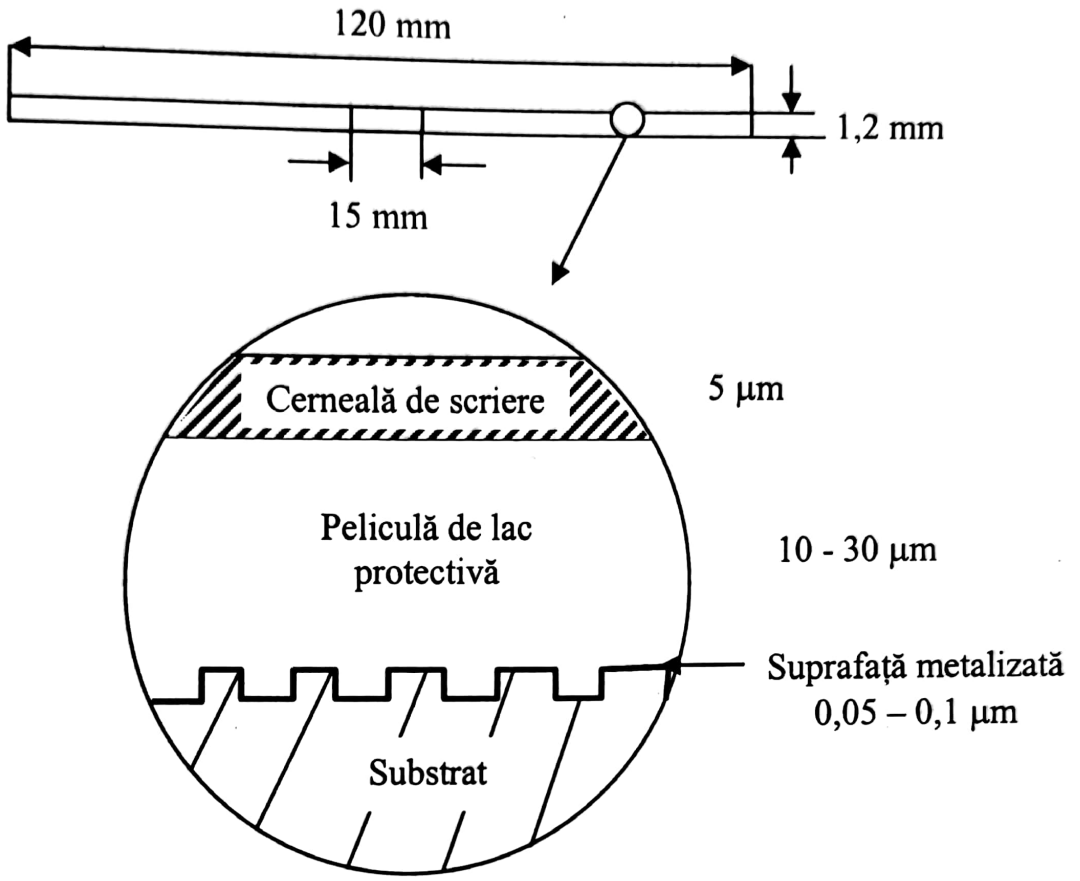


Figura 10.29. Structura CD.

De altfel, discul poate fi realizat din orice material transparent cu indice de refracţie 1,55, în general utilizându-se policarbonaţii. Caracteristicile fizice ale CD sunt definite în figura 10.29: diametrul exterior 120 mm, diametrul interior 15 mm şi grosimea de 1,2 mm.

Cea mai mare parte din interiorul discului nu conţine date, ea furnizează suprafaţa de prindere pentru aparatul de redare împreună cu orificiul pentru axul motorului de antrenare. Datele sunt înregistrate pe o lăţime de numai 35,5 mm. Avem o suprafaţa interioară care cuprinde date referitoare la intrările pe piste şi o suprafaţa exterioară, ce cuprinde date referitoare la ieşirile de pe piste, aceste suprafeţe necuprinzând date audio, ci numai date utilizate pentru control.

Înălţimea de 1,2 mm a discului este realizată prin suprapunerea unui substrat transparent de plastic. Datele sunt fizic conţinute în pit-uri (excavaţie având adâncimea de $\lambda/4$ din lungimea de undă a laserului folosit la citirea informaţiei de forma celor prezentate în figura 10.30), care sunt imprimate de-a lungul suprafeţei şi acoperite cu o peliculă foarte subţire de (50 - 100 nm) de metal (aluminiu, argint, aur).

O altă suprafaţă subţire de lac 10-30 μm protejează suprafaţa metalica a pit-urilor, iar deasupra este înscrisă o etichetă de identificare cu grosimea de 5 μm. Pentru

citirea datelor este utilizat un fascicul laser. Aceasta este aplicat părții inferioare trecând prin substratul transparent şi se reflectă înapoi. Fasciculul este focalizat pe suprafața metalica ce conține datele inscripționate. Deoarece datele de pe disc sunt citite cu un fascicul de lumină, reproducerea de pe CD nu determină apariția mai multor purtătoare decât la înregistrare, la fel ca la citirea unui cuvânt scris pe o pagină.

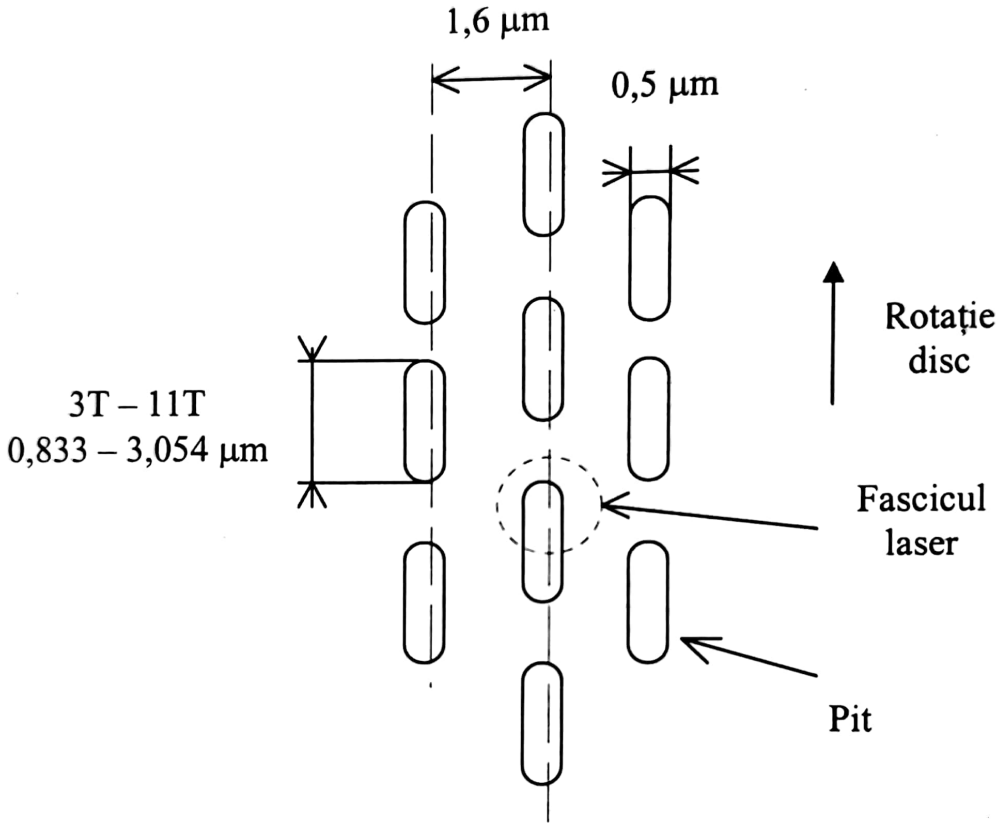


Figura 10.30. Structura pistei de elemente de informație la CD.

Figura 10.30 prezintă schematic pista de date, distanța dintre două spirale succesive fiind de 1,6 μm (ceea ce reprezintă o densitate de aproximativ 600 piste/mm). Sunt aproximativ 22188 rotații pe disc pe suprafața activă de 35,5 mm. Pista nespiralată are o lungime de aproape 7 km (3,5 mile) şi conține aproximativ 3×10^9 pit-uri. Construcția CD-ului este limitată de difracție, deoarece, fiind utilizată lumina, aceasta nu permite formațiuni mai mici. Explorarea are loc liniar de-a lungul pistei, de la începutul până la sfârşitul acesteia, ceea ce înseamnă că CD-ul trebuie să aibă o viteză liniară constantă, aşa-zisele discuri CLV.

Pentru a obține acest lucru, viteza de rotație a discului va avea o variație dependentă de poziția capului de citire. Deoarece fiecare pista exterioară conține mai multe pit-uri decât oricare din cele interioare, viteza discului se va micşora pe măsură ce redă datele, menținând în acest fel frecvența datelor constantă. Viteza de rotație este 500 rpm când se citesc pistele interioare şi scade până la 200 rpm pentru pistele

Scanned with OKEN Scanner

exterioare, menţinându-se în acest fel o viteză liniară constantă (viteza de citire a pit-ului este constantă).

Acest lucru se obţine cu ajutorul unui servosistem, care se sincronizează cu ajutorul cuvintelor de sincronizare citite de pe disc, cu ajutorul căruia se ajustează viteza discului, păstrându-se constantă viteza de citire a datelor. Sistemul CLV este mai avantajos decât sistemul CAV (viteza unghiulară constantă) utilizat de către LP, deoarece scăderea vitezei aparente pe pistele interioare determină o scădere a răspunsului la frecvenţe înalte. Dacă pentru CD s-ar utiliza sistemul CAV, pit-urile din exterior vor fi mai lungi decât cele din interior, ceea ce ar conduce la scăderea densităţii datelor şi implicit a timpului de înregistrare.

Principalele caracteristici ale sistemului CD *Tabelul 10.5*

Parametrii principali	
Timpul de redare şi înregistrare	max. 74 min. şi 33 s

Dimensiunea discului	diametrul exterior = 120 mm;
	grosimea = 1,2 mm;
	diametrul găurii interioare = 15 mm

Viteza de rotaţie a discului	1,2 şi 1,4 m/s
Caracteristici audio	
Canale	Stereo (2 canale)
Precizia sistemului	Precizie de cristal de cuarţ
Frecvenţa de eşantionare	44,1 kHz
Cuantizare	16 biţi
Modulaţie	Modulaţie 8 la 14 (EFM)
Sistem de corecţie de erori	CIRC cu 25 % redundanţă
Rata biţilor pe canal	4,3218 Mbiţi/s
Rata biţilor de date	2,0338 Mbiţi/s
Parametrii optici	
Lungimea de undă a razei laser	780 nm (valoare tipică)
Apertura numerică a lentilei	0,55 (valoare tipică)

De altfel, viteza liniară a discului este fixă, fiind cuprinsă între 1,2 şi 1,4 m/s, de aceasta depinzând şi durata înregistrării. Pentru timpi de înregistrare sub 60 minute se utilizează viteza de 1,4 m/s, iar pentru timpi de peste 60 minute se foloseşte cea de 1,2 m/s. Indiferent de viteza discului, viteza de rotaţie este menţinută pentru a obţine o frecvenţă constantă de citire a datelor de 4,3218 MHz.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru codarea datelor se utilizează o schemă bazată pe întreţesere şi utilizare de biţi de paritate în vederea corecţiei de erori, iar pentru adaptarea la structura canalului de date se foloseşte codarea EFM (8/14).

b. MINIDISC-ul

MiniDisc-ul (MD) reprezintă ultima treaptă în evoluţia discurilor. Scopul dezvoltării a fost producerea unui disc, mai mic decât unul convenţional, uşor de folosit şi cu capacităţi mari de stocare.

Caracteristicile **MD** sunt bazate pe cele ale CD, CD-ROM şi CD-MO. De asemenea, şi o parte a tehnologiei este preluată de la aceste forme de discuri existente, iar altă parte din tehnologie este nouă. În acest capitol este tratată doar partea de tehnologie nou introdusă.

Caracteristicile de bază sunt prezentate în tabelul următor:

Parametrii principali	
Timpul de redare şi înregistrare	max. 74 min.
Dimensiunea suportului de înregistrare	Adâncime = 68, Lăţime = 72, Înălţime = 5 mm
Caracteristici audio	
Canale	Stereo şi mono
Precizia sistemului	Precizie de cristal de quartz
Frecvenţa de eşantionare	44,1 kHz
Codare	Codare adaptivă (ATRAC)
Modulaţie	Modulaţie 8 la 14
Sistem de corecţie de erori	Advenced CIRC (ACIRC)
Parametrii optici	
Lungimea de undă a razei laser	780 nm (valoare tipică)
Apertura numerică a lentilei	0,45 (valoare tipică)
Puterea de înregistrare	2,5 - 5 mW (raza principală)
Strategia de înregistrare	Modulaţia câmpului magnetic

Sunt disponibile două tipuri de disc: preînregistrat şi înregistrabil; ambele sunt discuri montate în carcase pentru o siguranţă mai mare. Tipul preînregistrat este asemănător cu CD-ul normal, doar că are dimensiuni mai mici şi poate conţine 74 min. de muzică (compresie ATRAC).

Scanned with OKEN Scanner

Discul înregistrabil este unul de tip magneto-optic, care utilizează modulația câmpului magnetic pentru scrierea informației. Cele mai importante caracteristici ale sistemului MiniDisc sunt următoarele:

(1) Caracteristica anti-şoc

Una din calitățile majore ale MD este caracteristica anti-şoc. Aceasta s-a obținut prin combinarea compresei de date cu memoria RAM de tip tampon, care creează posibilitatea obținerii nedistorsionate a semnalului audio pentru câteva secunde chiar şi în cazul în care sistemul este sub acțiunea unor vibrații sau şocuri mari care cauzează întreruperea ciclului de citire. Explicația este că datele sunt citite mult mai repede decât este necesar, stocate în RAM, deci atâta timp cât dispune încă de date sistemul de redare funcționează.

Viteza de citire a datelor este aceeaşi ca în cazul CD player-ului, adică 1,4 Mbit/s, deşi decoder-ul necesită doar o viteză de 0,3 Mbit/s, deci este nevoie de un buffer RAM care să stocheze datele temporar. Fiecare Mbit de memorie este echivalentul a 3s de semnal audio. Atunci când memoria RAM se umple, nu se mai citesc date de pe disc, redarea fiind oprită temporar.

Pe de altă parte, dacă citirea datelor de pe disc trebuie să se oprească temporar, memoria RAM va conține destule date pentru a asigura continuitatea semnalului de citire.

(2) Posibilitatea de înregistrare

Discul înregistrabil nu este o descoperire nouă şi este folosit de ani de zile; este cunoscut sub numele de CD-MO (magneto-optic). Mediul magneto-optic al MiniDisc-ului este o dezvoltare ulterioară, permițând o instalare mult mai simplă şi o putere de înregistrare mai mică.

Înregistrarea discului se poate face prin mai multe metode, dar cea aleasă pentru înregistrarea MD, modulația câmpului magnetic, este cea mai durabilă şi numărul de re-înregistrări este foarte mare (1.000.000 ori).

Discul înregistrabil constă dintr-un substrat de policarbonat, pe care s-a depus un strat de material magneto-optic (MO), acoperit pe ambele părți de un strat dielectric. Deasupra acestora se depune un strat reflectorizant, unul de protecție şi unul lubrifiant, de silicon, pe care se va deplasa capul magnetic. Stratul MO este un alloy special, care necesită un câmp magnetic mic pentru a realiza stocarea informației.

Înregistrarea este o combinație între un cap magnetic şi unul laser, ambele pe aceeaşi axă, fiecare aflându-se pe câte o față a discului (opuse unul față de celălalt), realizându-se prin suprascriere.

Pentru a face o înregistrare magnetică pe un material MO, nu este necesar doar un câmp magnetic, ci şi o anumită temperatură, numită punct Curie. Pentru materialul

Scanned with OKEN Scanner

utilizat aceasta temperatură este de aproximativ 185°C, ceea ce conduce aproape la dispariția posibilității de ștergere accidentală a datelor.

Raza laser va încălzi un punct al materialului MO, iar de pe partea opusă capul magnetic va înscrie datele cu ajutorul unui alt cap magnetic care permite inversarea rapidă a fluxului magnetic (aproximativ 100 ns). Este evident că și celelalte straturi de pe disc trebuie să suporte temperatura care apare în momentul înregistrării datelor.

(3) Citirea datelor

Deoarece există două tipuri de disc, sistemul de citire acceptă două tipuri de intrări.

Discul preimprimat este similar cu un CD. Aceeași rază laser este folosită ca în timpul înregistrării, dar cu o putere mai mică. Raza laser reflectată va varia în intensitate, în funcție de informația de pe disc.

Discul înregistrabil folosește un alt sistem, datele nefiind înscrise într-un sistem de neregularități fizice, ci într-un strat de material magnetic. Dar și în acest caz citirea datelor se face cu o rază laser utilizând efectul Kerr. Acesta se manifesta prin schimbarea polarizării razei laser.

Raza laser atinge suprafața discului, trece prin stratul de material magnetic și este apoi reflectat de stratul reflector. Trecând prin stratul de material magnetic, se schimbă polarizarea razei laser, în funcție de conținutul magnetic al stratului de FeTbCo. Acest fenomen se numește **efectul Kerr**: polarizarea unei raze de lumină este influențată de mediul magnetic prin care aceasta trece.

Întrucât, dacă nu sunt date pe disc, este imposibilă poziționarea corectă a sistemului de citire, la MiniDisc se utilizează o pistă numita ADIP, în formă de U, care este imprimată la fabricarea discului. Această pistă este de fapt un semnal de 22,05 kHz, care este modulat bifazic cu frecvențele de 21,05 și 23,05 kHz. Prin demodularea acestui semnal se obține o adresă unică, alocându-se fiecărei poziții de pe disc o adresă corectă chiar și atunci când nu este înscrisă nici o informație. Această informație este de adresă și nu se poate modifica. Citirea ADIP este similară cu a unui CD, deoarece raza laser atinge parțial suprafața discului și parțial pista.

(4) Sistemul de codare acustică cu transformare adaptivă (ATRAC)

Aceasta este o problemă cheie în tehnologia MD. Intrarea audio este codată/decodată folosind metode de transformare care sunt adaptive și se bazează pe proprietățile sistemului auditiv uman.

Astfel, sistemul de codare ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coder) realizează reducerea debitului de date de la 1,4 Mbit/s la 292 biti/s ținând cont de sistemul auditiv uman. Principala caracteristică utilizată o reprezintă efectul de mascare, care permite eliminarea anumitor componente și reducerea, astfel, a debitului de date.

Scanned with OKEN Scanner

(5) Funcţionarea ATRAC

Este de remarcat faptul că sistemul ATRAC permite schimbarea soft-ului, de exemplu a algoritmilor de calcul, fără a crea probleme de compatibilitate. Schema bloc a codorului ATRAC este prezentată în figura 10.33.

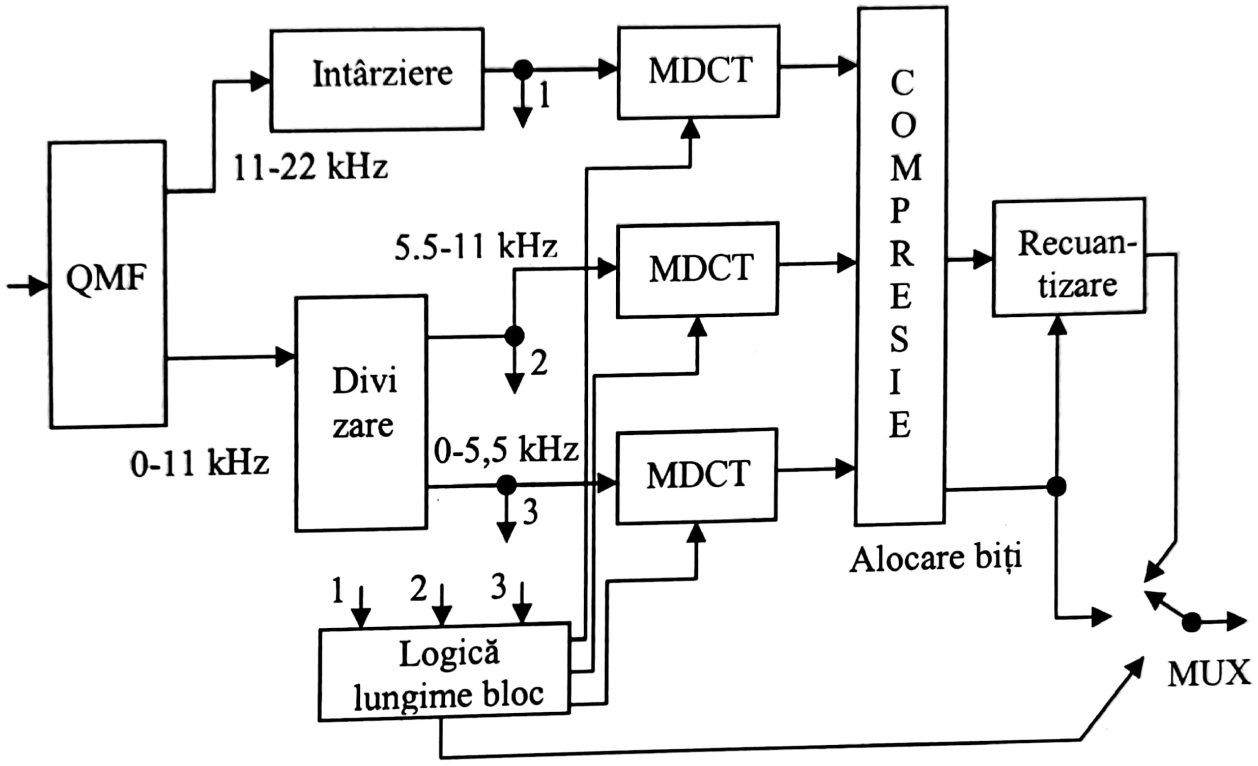


Figura 10.31. Codorul ATRAC.

Eşantioanele de intrare (16 bit/2 canale/rata de eşantionare de 44,1 kHz) sunt întâi analizate pentru încadrarea în bandă realizându-se o separare în: frecvenţe înalte (11,05 kHz - 22,05 kHz) şi frecvenţe joase (0 – 11 kHz). După aceasta, în faza a doua, sunt separate frecvenţele medii şi joase (5,5025 kHz - 11,025 kHz, 0 - 5,5025 kHz), în timp ce componentele înalte sunt întârziate, pentru a evita erorile ce pot să apară datorită timpului de prelucrare a celorlalte două benzi.

După despărţirea în cele trei benzi de frecvenţă, se utilizează transformata cosinus discretă modificată (MDCT – Modified Discrete Cosine Transform) pentru analiza spectrală a semnalelor. Înainte de trecerea în domeniul frecvenţă, trebuie să se ia o decizie de bloc. Aceasta se referă la numărul de blocuri temporale/frecvenţă care vor fi folosite la analiza semnalului de intrare.

După cum am menţionat, se definesc un număr de benzi critice de frecvenţă. ATRAC foloseşte un număr mai mare de benzi critice decât minimul necesar şi de aceea este posibil numărul exact de benzi de la bloc la bloc. Se poate modifica şi temporizarea, de exemplu numărul de eşantioane care vor fi analizate ca un singur bloc: maximul este 11,6 ms (sau 512 eşantioane la rata de eşantionare de 44,1 kHz).

Scanned with OKEN Scanner

Motivul includerii acestei flexibilități blocurilor de timp/frecvență este şi el bazat pe principiile psiho-acustice. Când auzim un sunet scurt, sub forma unui impuls, percepem mai degrabă diferențe mari de nivel decât diferențe mici. Pe de altă parte, atunci când ascultăm un sunet care variază încet în timp, vom percepe diferențele mici de nivel, deoarece nu există diferențe mari de nivel. Decizia pe baza blocurilor de timp/frecvență permite ATRAC să realizeze alocarea corespunzătoare a benzilor de frecvență.

Prin aceasta se poate reduce din nou rata de transfer, deoarece informația fără importanță este ştearsă. În final, se face alocarea de biți, în această fază fiecare bloc fiind analizat. Acestea se reprezintă sub forma unui şir de biți de lungime variabilă, între 0 şi 15, reprezentând domeniul dinamic al componentei. Un factor de scalare dă nivelul relativ al semnalului, iar biții rămaşi se pot şterge. În acest fel doar partea semnificativă a datelor este codificată.

Ca rezultat al codării ATRAC, datele de ieşire nu se pot descrie ca fiind date audio, ci date care descriu componente ale spectrului audio în lungimi de cuvinte şi factori de scalare, comparabile cu blocurile de date flotante din computere. Ieşirea codării ATRAC va fi procesată EFM şi ACIRC, similar codării la CD.

Scanned with OKEN Scanner

ANEXE

ANEXA 1. VITEZA DE PROPAGARE A UNDELOR SONORE ÎN DIFERITE MEDII

Material	Viteză unde sonore [m/s]
Aluminiu	5200
Aur	2000
Fier	5100
Gheață	3200
Lemn brad	4700
Mercur	1400
Alcool	1240
Benzină	1170
Apă sărată	1504
Vapori	405
Hidrogen	1270
Oxigen	317

ANEXA 2. SERIILE NORMATE (ISO 266) UTILIZATE PENTRU COMPARAREA DIRECTĂ A FRECVENȚELOR

(1) Seria în octavă

16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31500; 63000 Hz

(2) Seria în jumătate de octavă

16; 22,5; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400; 2000; 2800; 4000; 5600; 8000; 11200; 16000; 22400; 31500 Hz

(3) Seria în treime de octavă

12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320 …

În continuare se schimbă numai ordinul de marime (treimea de octavă corespunzând cu aproximație zecimii de decadă)

Scanned with OKEN Scanner

ANEXA 3. PRINCIPALELE APILICAȚII ALE MICROFOANELOR

Aplicația	Tipul traductorului					Caracteristica de directivitate					
	Capacitiv	Electret	Electrodinamic	Bandă	Cristal	Omnidirecțională	Cardioidă	Hipercardioidă	Opt	Superdirectivă - Gun	Superdirectivă-Reflector
Crainic		*	*				*	*			
Tobă bas			*				*				
Cabaret		*	*				*	*			
Violoncel	*		*	*			*		*		
Cor (mono)	*			*		*	*		*		
Cor (stereo)	*			*			*	*	*		
Conferință		*	*				*				
Cor englez; cimpoi	*	*		*			*				
Demonstrații		*	*			*	*				
Cină		*		*		*	*				
Filmări	*		*							*	
Flaut, Clarinet	*	*	*	*			*				
Interviuri			*			*		*			
Lectori		*				*	*				
Orchestră (mono)	*		*	*		*	*		*		
Orchestră (stereo)	*			*			*	*	*		
Sistem de anunțuri (chemări)		*	*					*			
Instrumente de percuție	*	*		*			*				
Pian solo	*		*	*		*					
Pian în ansamblu	*		*	*			*				
Formație pop			*					*			
Transmisii radio		*	*			*	*				
Reportaje	*		*					*		*	
Saxofon			*	*			*				
Cântăreț de gen feminin	*	*		*		*			*		
Cântăreț de gen masculin	*			*		*			*		
Piesă de teatru		*	*			*	*				
Instrumente cu coarde	*	*		*			*				
Crainic în studio	*			*		*	*		*		
Înregistrări pe bandă		*	*			*	*				
Televiziune	*		*					*		*	
Captare în aer liber	*		*					*		*	*

Scanned with OKEN Scanner

EDITURA DE VEST

Sunetul, ca fenomen fizic, reprezintă o componentă majoră a procesului informațional existențial, pe de o parte, iar pe de altă parte, este unul din mijloacele de bază în generarea actului estetic.

Tehnica sunetului se dorește a fi o prezentare a principalelor probleme, echipamente și tehnici necesare transmiterii și conservării sunetelor, în contextul în care societatea evoluează spre una informațională, iar înțelegerea și utilizarea corectă a aparatului fonotor și auditiv condiționează compresia și integrarea informațiilor audio în fluxul informațional al comunicațiilor numerice.

ISBN 973-36-0415-1

Scanned with OKEN Scanner